

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5741773号
(P5741773)

(45) 発行日 平成27年7月1日(2015.7.1)

(24) 登録日 平成27年5月15日(2015.5.15)

(51) Int.Cl.

F 1

C 22 C 38/00	(2006.01)	C 22 C 38/00	3 O 1 Y
C 22 C 38/34	(2006.01)	C 22 C 38/34	
C 22 C 38/54	(2006.01)	C 22 C 38/54	
E 04 C 5/01	(2006.01)	E 04 C 5/01	
C 21 D 8/08	(2006.01)	C 21 D 8/08	A

請求項の数 6 (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2014-532775 (P2014-532775)
(86) (22) 出願日	平成25年8月23日(2013.8.23)
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/004997
(87) 国際公開番号	W02014/034070
(87) 国際公開日	平成26年3月6日(2014.3.6)
審査請求日	平成26年6月24日(2014.6.24)
(31) 優先権主張番号	特願2012-191652 (P2012-191652)
(32) 優先日	平成24年8月31日(2012.8.31)
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)
(31) 優先権主張番号	特願2012-192529 (P2012-192529)
(32) 優先日	平成24年8月31日(2012.8.31)
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)

(73) 特許権者	000001258 J F E スチール株式会社 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(74) 代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(74) 代理人	100165696 弁理士 川原 敏祐
(72) 発明者	本庄 稔 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
(72) 発明者	上井 清史 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】鉄筋用鋼および鉄筋

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

C : 0.37質量 % 以上 0.50質量 % 以下、
 Si : 1.75質量 % 以上 2.30質量 % 以下、
 Mn : 0.2質量 % 以上 1.0質量 % 以下、
 Cr : 0.01質量 % 以上 1.2質量 % 以下、
 Mo : 0.05質量 % 以上 1.0質量 % 以下、
 P : 0.025質量 % 以下、
 S : 0.025質量 % 以下 および
 O : 0.0015質量 % 以下

を含み、下記(1)に従うA値が770以上850以下、下記(2)式に従うB値が0.40以上であり、残部不可避的不純物およびFeの成分組成を有する鉄筋用鋼。

記

$$A = + + \cdots \quad (1)$$

ここで、 $= - 334 \times [C]^2 + 806 \times [C] + 291$
 $= 24 \times [Si]^2 + 67 \times [Si]$
 $= - 4 \times [Cr]^2 + 23 \times [Cr] - 5$

$$B = [Si] / [10 \times C] \cdots \quad (2)$$

但し、上記の[]は、該括弧内成分の含有量(質量%)

【請求項 2】

前記成分組成が、さらに、
Al : 0.50質量%以下、
Cu : 1.0質量%以下および
Ni : 2.0質量%以下

のうちから選ばれる1種または2種以上を含有する請求項1に記載の鉄筋用鋼。

【請求項3】

前記成分組成は、さらに、
W : 2.0質量%以下、
Nb : 0.1質量%以下、
Ti : 0.2質量%以下および
V : 0.5質量%以下

10

のうちから選ばれる1種または2種以上を含有する請求項1または2に記載の鉄筋用鋼。

【請求項4】

前記成分組成は、さらに、
B : 0.005質量%以下

を含有することを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の鉄筋用鋼。

【請求項5】

表面から少なくとも20μmの厚み領域の硬さがHV250以下であり、表面から鋼材の径の1/4の深さ域の硬さがHRC40以下である請求項1ないし4のいずれかに記載の鉄筋用鋼。

20

【請求項6】

請求項1ないし4のいずれかに記載の成分組成を有し、表面から少なくとも10μmの厚み領域の硬さがHV300以下である鉄筋。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、鉄筋コンクリート構造物に用いられるせん断補強筋として使用される高強度の鉄筋、および、その素材として使用される鉄筋用鋼に関するものである。

【背景技術】

30

【0002】

例えば、ビルや共同住宅などの鉄筋コンクリート構造物には、その崩壊を防ぐために、補強材としてせん断補強筋が使用される。せん断補強筋を使用した鉄筋コンクリート構造物では、鉄筋コンクリート構造物がせん断変形する際に、せん断補強筋が伸びて塑性変形することにより、鉄筋コンクリート構造物の変形エネルギーがせん断補強筋に吸収され鉄筋コンクリート構造物の崩壊が防がれる。

【0003】

従来、せん断補強筋は、引張強さが1200MPa程度のものが、一般的に使用されている。しかし、近年、鉄筋コンクリート構造物の断面スリム化、軽量化および高層化に対するニーズがあり、そのために超高強度コンクリートの開発が急速に進んでいる。コンクリートの強度が上がれば、バランスをとるために、せん断補強筋の高強度化も必要となる。

40

【0004】

ところで、せん断補強筋は、例えばコンクリート柱や梁のような、建物の構造を支える軸が曲がらないようにする主筋に巻きつけて束ねる形で補強材として機能するものであり、コンクリート柱の断面形状に対応させて断面が円形や角形等のコイル状に成形加工されて使用される。これらの断面形状は、曲げ加工により与えられるものであるから、その成形に当たり曲げ加工性が求められる。従って、せん断補強筋が伸び特性に優れていれば、曲げ加工が容易となり、加工性の面からも大きな長所となる。しかし、上述のとおり、コンクリートの高強度化に応じてせん断補強筋をも高強度化すると、曲げ加工時の折損などの問題が新たに懸念されている。

50

【0005】

さて、せん断補強筋を高強度化するためには、C、Si、Mnをはじめとする合金元素の添加量を増加する必要がある。しかしながら、せん断補強筋は、鉄筋用鋼を引抜き加工し、その後、熱処理を行って製造されるのが一般的である。そのため、合金元素の添加量を増やすと、鉄筋用鋼の硬度が上昇し、鉄筋用鋼の引抜き時に線材が断線し、製造性が低下する。そのため、高強度化を実現するには、鉄筋用鋼の伸線性が低下するのを回避する必要があった。

【0006】

そこで、上記問題を克服するため、いくつかの提案がなされている。

まず、特許文献1には、C、Si、Mnを適正範囲に制御し、冷却条件を制御することによって、表面のフェライト脱炭を0.12mm以上確保する、熱処理方法が開示されている。しかしながら、フェライト脱炭が0.12mm以上になると、高強度鉄筋を製造した場合の強度確保が困難となるため、フェライト脱炭層以外を高強度化する必要があり、合金添加が必要となる。そのため、鉄筋用の素材の硬度が上昇し、伸線性の低下を招くことになる。また、高強度鉄筋を製造後に、鉄筋の韌性が低下し、曲げ加工性が低下する。また、フェライト脱炭層を0.12mm以上にするには、添加するSi量にもよるが、830～900の温度範囲を少なくとも30秒超間保持することが必要であり、600～700の温度範囲に1時間以上保持することが好ましいことから、操業時の能率が低下し、余分な操業コストがかかる。

【0007】

特許文献2には、C、Si、Mn、Ni、Al量の最適化して、鋼材表層のフェライト脱炭層を0.12mm以上に制御し、内部がフェライト・パーライト組織あるいは球状化セメントイト組織に制御することによって、遅れ破壊特性に優れた鋼線材を得ることが開示されている。しかしながら、上述したとおり、フェライト脱炭が0.12mm以上になると、高強度鉄筋を製造した場合の強度確保が困難となるため、フェライト脱炭層以外を高強度化する必要があり、合金添加が必要となる。そのため、鉄筋用の素材の硬度が上昇し伸線性が低下したり、高強度鉄筋製造後は鉄筋の韌性が低下し、曲げ加工性が低下する。また、線材圧延後、オンラインまたはオフラインで熱処理を施す必要があり、再加熱などの余分な操業コストが増大する。

【0008】

ここで、特許文献3には、成分組成ならびに、フェライト面積率とフェライト及びパラライト組織の合計面積率とを制御した高強度鉄筋が開示されている。しかしながら、パラライト組織が生成すると韌性が低下するため、曲げ加工性は低下する可能性がある。

【0009】

また、特許文献4には、成分組成ならびに圧延方法を制御することにより、降伏伸びの大きい高強度鉄筋用鋼を製造する方法が開示されている。しかしながら、引張強さが100kg/mm²以下であり、高強度化すると降伏伸びが低下するため、曲げ加工性が低下する可能性がある。

【0010】

さらに、特許文献5には、成分組成ならびに圧延方法を制御することにより、降伏伸びの大きい高強度鉄筋用鋼を製造する方法が開示されている。上述したように、高強度化すると降伏伸びが低下するため、やはり曲げ加工性が低下する可能性がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特許3156166号公報

【特許文献2】特開平6-306540号公報

【特許文献3】特開2012-67363号公報

【特許文献4】特開平4-173922号公報

【特許文献5】特開平9-324215号公報

10

20

30

40

50

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0012】**

上述の通り、超高強度コンクリートの開発に伴い、かのようなコンクリートからなる鉄筋コンクリート構造物に適用する、せん断補強筋の高強度化が課題となっていた。しかしながら、せん断補強筋の高強度化のためには、合金元素の添加が必要である。合金元素を添加すると、鉄筋用鋼の硬度が上昇するため、鉄筋製造時の引抜き加工時に線材が断線し、伸線性が低下することが問題となっていた。また、高強度化に伴う曲げ加工性の低下を防止することも、当然、必要であった。

【0013】

10

本発明は、このような課題を解決すべくなされたものであり、高強度でありながら曲げ加工性に優れた鉄筋を優れた伸線性の下に製造可能とする、鉄筋用鋼について提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0014】**

発明者らは、前記課題を解決するため、C、Si、Mn、CrおよびMoの添加量をさまざまに変化させた高強度鉄筋用鋼を製作し、その伸線性および鉄筋用鋼の硬度（引き抜き前の素材の硬度）を鋭意調査した。そして、この高強度鉄筋用鋼に引き抜き加工を行い、熱処理を行って作製した高強度鉄筋について、その引張強さおよび曲げ加工性を鋭意調査した。

その結果、C、Si、Mn、CrおよびMoの添加量を適正化することに加えて、C、SiおよびCrについては所定の関係の下に添加量を規制することが、良好な伸線性を確保しつつ、高強度でありながら良好な曲げ加工性を有する鉄筋またはその素材となり得る、鉄筋用鋼の提供に不可欠であることを見出し、本発明を完成するに至った。

【0015】

20

すなわち、本発明の要旨構成は、以下のとおりである。

1. C : 0.37質量%以上0.50質量%以下、

Si : 1.75質量%以上2.30質量%以下、

Mn : 0.2質量%以上1.0質量%以下、

Cr : 0.01質量%以上1.2質量%以下

Mo : 0.05質量%以上1.0質量%以下、

30

P : 0.025質量%以下、

S : 0.025質量%以下および

O : 0.0015質量%以下

を含み、下記(1)に従うA値が770以上850以下、下記(2)式に従うB値が0.40以上であり、残部不可避的不純物およびFeの成分組成を有する鉄筋用鋼。

記

$$A = + + \cdots \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、 } A &= - 334 \times [C]^2 + 806 \times [C] + 291 \\ &= 24 \times [Si]^2 + 67 \times [Si] \\ &= - 4 \times [Cr]^2 + 23 \times [Cr] - 5 \end{aligned}$$

40

$$B = [Si] / [10 \times C] \cdots \quad (2)$$

但し、上記の[]は、該括弧内成分の含有量（質量%）

【0016】

2. 前記成分組成が、さらに、

Al : 0.50質量%以下、

Cu : 1.0質量%以下および

Ni : 2.0質量%以下

のうちから選ばれる1種または2種以上を含有する前記1に記載の鉄筋用鋼。

【0017】

3. 前記成分組成は、さらに、

50

W : 2.0質量%以下、
Nb : 0.1質量%以下、
Ti : 0.2質量%以下および
V : 0.5質量%以下

のうちから選ばれる1種または2種以上を含有する前記1または2に記載の鉄筋用鋼。

【0018】

4. 前記成分組成は、さらに、

B : 0.005質量%以下

を含有することを特徴とする前記1ないし3のいずれかに記載の鉄筋用鋼。

【0019】

5. 表面から少なくとも $20\mu\text{m}$ の厚み領域の硬さがHV250以下であり、表面から鋼材の径の1/4の深さ域の硬さがHRC40以下である前記1ないし4のいずれかに記載の鉄筋用鋼。

【0020】

6. 前記1ないし4のいずれかに記載の成分組成を有し、表面から少なくとも $10\mu\text{m}$ の厚み領域の硬さがHV300以下である鉄筋。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、優れた伸線性を有し高強度の鉄筋を製造し得る鉄筋用鋼を、安定して製造することが可能となる。この鉄筋用鋼を用いる鉄筋、または鉄筋用鋼から引き抜き加工および熱処理を経て製造された鉄筋は、引張強さが1600MPa以上で、優れた曲げ加工性を有しているため、鉄筋コンクリート構造物の断面スリム化、軽量化および高層化をはかるのに寄与するところが大きく、産業上有益な効果がもたらされる。

【発明を実施するための形態】

【0022】

次に、本発明の鉄筋の成分組成並びにその製造条件について説明する。

C : 0.37質量%以上0.50質量%以下

Cは、必要な強度を確保するために必須の元素であり、0.37質量%未満では所定の強度確保が難しく、また所定強度を確保するためには、合金元素の多量添加が必要となって、合金コストの上昇を招くことから、0.37質量%以上とする。一方、0.50質量%を超える添加は、強度を大幅に上昇して、ひいては鉄筋の必要以上の強度上昇を招いて曲げ加工性の低下を招くことから、0.50質量%以下とする。より好ましくは、0.37~0.45質量%の範囲である。

【0023】

Si : 1.75質量%以上2.30質量%以下

Siは、脱酸剤として、また固溶強化や焼戻し軟化抵抗を向上させることにより鋼の強度を高める元素であり、またフェライト脱炭促進元素であるため、後述するようにHV250以下となる表層領域を確保する上でも有用である。よって、本発明では、1.75質量%以上で添加する。しかし、2.30質量%を超える添加は、延性が低下し、铸造時に素材に割れが発生するため、素材の手入れが必要となり製造コストの増加を招く。よって、Siの上限は2.30質量%とする。より好ましくは、1.75~2.25質量%の範囲である。

【0024】

Mn : 0.2質量%以上1.0質量%以下

Mnは、鋼の焼入れ性を向上させるため、0.2質量%以上で添加する。しかし、1.0質量%を超える添加は、却って鋼の強度を低下させる。よって、Mnの上限は、1.0質量%とする。より好ましくは、0.25~1.0質量%の範囲である。

【0025】

Cr : 0.01質量%以上1.20質量%以下

Crは、鋼の焼入れ性を向上させ強度を増加させる元素である。そのため、0.01質量%以上は添加する。一方、1.20質量%を超えての添加は、却って鋼を高強度化するため、引抜

10

20

30

40

50

加工時の伸線性、高強度鉄筋としての曲げ加工性の低下を招く。以上のことから、Cr量は0.01質量%以上1.20質量%以下とする。より好ましくは、0.01~1.00質量%の範囲である。

【0026】

Mo : 0.05質量%以上1.0質量%以下

Moは、鋼の焼入れ性を向上させ強度を増加させる元素である。そのため、0.05質量%以上は添加する。一方、1.0質量%を超えての添加は、却って鋼を高強度化するため、引抜加工時の伸線性、高強度鉄筋としての曲げ加工性の低下を招く。以上のことから、Mo量は0.05質量%以上1.0質量%以下とする。より好ましくは、0.05~0.5質量%の範囲である。

【0027】

P : 0.025質量%以下

S : 0.025質量%以下

PおよびSは、粒界に偏析して鋼の母材韌性の低下を招くことから、それぞれ0.025質量%以下に規制する。とくに、SはMnSとして鋼中に存在するため、曲げ加工時にMnSが起点となり亀裂が生じ易くなる可能性があるため、極力抑制する必要があり、可能であれば、0.015質量%以下とすることが好ましい。なお、PおよびSをそれぞれ0.0002質量%未満とすることは高いコストを要することから、工業的にはPおよびSはそれぞれ0.0002質量%以上含有されていることが好ましい。

【0028】

O : 0.0015質量%以下

Oは、SiやAlと結合し、硬質な酸化物系非金属介在物を形成し、曲げ加工時に起点となり亀裂が生じ易くなる可能性があるため、可能な限り低い方が良いが、本発明では、0.0015質量%までは許容される。なお、Oを0.0005質量%未満とすることは高いコストを要することから、工業的にはOは0.0005質量%以上含有されていることが好ましい。

【0029】

A値(上記(1)式) : 770以上850以下

A値は、良好な強度、伸線性ならびに曲げ加工性を得るために指標である。このA値が770未満であると、曲げ加工性は良好であるが、鉄筋の強度確保が困難となる。一方、A値が850を超えると、良好な強度を得ることはできるが、鉄筋用鋼の硬度が上昇して引き抜き加工時に断線を招くことになり、却って伸線性が低下する。さらには、鉄筋としての曲げ加工性が低下するため、本発明では、A値を770以上850以下とする。より好ましくは、770以上849以下の範囲である。

【0030】

B値(上記(2)式) : 0.40以上

B値は、良好な伸線性を得るために指標である。このB値を0.40以上とすることによって、鉄筋用鋼においては良好な伸線性を、鉄筋においては良好な曲げ加工性を確保することができる。なお、B値を0.40以上にすることにより、伸線性や曲げ加工性が良好となる理由は、鉄筋用鋼の表層域あるいは鉄筋の表層域に脱炭層が形成し、この表層域の硬さが低下して加工性が良好となるためである。具体的には、後述する実験結果で詳細は説明するように、B値を0.40以上とすることで、鉄筋用鋼においては表面から少なくとも $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上の厚み領域の硬さがHV250以下となり、伸線性を良好とすることができます。また、B値を0.40以上とすることにより、鉄筋においては表面から少なくとも $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上の厚みの領域の硬さをHV300以下とすることができる、曲げ加工性を良好とすることができます。

【0031】

発明者らは、鉄筋用鋼の成分組成、とりわけ上記のA値およびB値が伸線性や曲げ加工性に与える影響について、種々の実験にて評価した。その代表的な2つの実験結果を、以下に詳述する。

[実験1]

上記のA値およびB値について、発明者らは、成分組成とA値およびB値とを変化させた鉄筋用鋼を作製し、その硬度を調査した。さらには、この鉄筋用鋼に対して、引抜加工

10

20

30

40

50

、焼入れ・焼戻し処理を行うことで鉄筋を製造し、引抜加工時の伸線性を調査するとともに、得られた鉄筋については、その引張強さ、表層硬さおよび曲げ加工性、さらには組織を調査した。なお、引張強さ、表層硬さおよび曲げ加工性は、後述する試験方法で測定を行った。表1に成分組成を、表2に鉄筋用鋼でのHV250以下の範囲、硬度と鉄筋としての引張強さ、曲げ加工性の評価結果を、それぞれ示す。

【0032】

製造条件は次の通りである。

まず、真空溶解で溶製した鋼塊を室温から表2に示す加熱速度で表2に示す加熱温度まで加熱後、熱間圧延を行った。熱間圧延以降の製造条件は同じにした。すなわち、熱間圧延を850¹⁰で終了後に1/sで冷却し、直径13.5mmの線材とし、これを鉄筋用鋼とした。得られた線材の長手方向に垂直な断面の硬度測定を行った。硬度測定は後述する試験方法で試験を実施した。

【0033】

次に、この鉄筋用鋼を素材とし、鉄筋を製造した。鉄筋の製造条件は、同じにした。すなわち、製造条件は次の通りである。

13.5mmの線材を、12.6mmに引抜加工を行い、その後、1000²⁰に加熱後60の油で冷却し、350に加熱後水冷する、焼入れ・焼戻し処理を行った。伸線性は、この引抜加工時に素線が断線したかどうかで判断し、断線しなければ良好な伸線性を有していると判断した。

焼入れ・焼戻し後の線材を、ASTM E8に記載の平行部1/4in.の引張試験片に加工した。²⁰
なお、曲げ加工性は、500mm長さに切断後、後述する試験方法で試験を実施した。

【0034】

表2に、鉄筋用鋼のHV250以下の範囲、線材径Dの表面から1/4の深さ域(1/4D部)での硬度、引抜加工時の伸線性、鉄筋としての引張強さ、曲げ加工性を示した。この表に示すように、A値およびB値とともに本発明の範囲内に制御した場合、上述した特性が良好であることが分かる。以上のことから、A値は、770以上850以下、B値は0.40以上の範囲に調整することによって、高強度でありながら伸線性が向上することが判明した。

【0035】

【表1】

[表1]

[化学成分(質量%)]

鋼No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	O	A値	B値	備考
A-1	0.33	1.50	1.30	0.009	0.005	0.70	0.35	0.0009	684	0.45	基準鋼
A-2	0.44	1.98	0.20	0.010	0.005	0.25	0.05	0.0010	808	0.45	発明鋼
A-3	0.42	2.00	0.90	0.010	0.004	0.03	0.21	0.0007	796	0.48	発明鋼
A-4	0.45	2.21	0.25	0.008	0.004	0.12	0.11	0.0007	849	0.49	発明鋼
A-5	0.37	1.88	0.71	0.008	0.005	1.19	0.92	0.0008	771	0.51	発明鋼
A-6	0.40	1.84	0.60	0.008	0.009	0.52	0.18	0.0008	770	0.46	発明鋼
A-7	0.44	1.76	0.48	0.006	0.011	0.95	0.08	0.0007	786	0.40	発明鋼
A-8	0.44	2.21	0.91	0.006	0.007	0.05	0.22	0.0008	842	0.50	発明鋼
A-9	0.42	2.29	0.75	0.007	0.007	0.11	0.31	0.0007	847	0.55	発明鋼
A-10	0.43	1.78	0.53	0.008	0.006	0.21	0.11	0.0008	771	0.41	発明鋼
A-11	0.45	1.75	0.56	0.008	0.007	0.18	0.15	0.0007	776	0.39	比較鋼
A-12	0.37	1.98	0.78	0.008	0.006	0.05	0.06	0.0007	766	0.54	比較鋼
A-13	0.44	2.20	0.62	0.007	0.005	0.58	0.07	0.0006	852	0.50	比較鋼

【0036】

【表2】

[表2]

鋼No.	加熱温度(°C)	加熱速度(°C/分)	HV250以下の範囲(μm)	HV250以下の範囲の組織	1/4D部組織	1/4D部硬度(HRC)	引抜加工時の破断回数	伸線性	引張強度(MPa)	曲げ加工性	備考
A-1	1000	2	0	-	B	39	0	○	1443	○	基準鋼
A-2	1000	25	40	α	α+P	24	0	○	1861	○	発明鋼
A-3	950	20	40	α	α+P	28	0	○	1916	○	発明鋼
A-4	1100	10	50	α	α+P	25	0	○	1871	○	発明鋼
A-5	1000	5	60	α	B	38	0	○	2106	○	発明鋼
A-6	1050	15	30	α	α+P	29	0	○	1924	○	発明鋼
A-7	900	20	20	α	α+P+B	34	0	○	1970	○	発明鋼
A-8	880	2	60	α	α+P	29	0	○	1938	○	発明鋼
A-9	950	15	90	α	α+P	28	0	○	1932	○	発明鋼
A-10	900	10	30	α	α+P	26	0	○	1886	○	発明鋼
A-11	1000	10	10	α	α+P	27	2	×	1903	×	比較鋼
A-12	1000	10	80	α	α+P	25	0	○	1462	○	比較鋼
A-13	1000	15	40	α	B+M	42	4	×	2385	×	比較鋼

α フェライト
P パーライト
B ベイナイト
M 焼戻しマルテンサイト

○ 破断・割れなし
× 破断・割れあり

○ 割れなし
× 割れあり

【0037】

[実験2]

上記のA値およびB値について、発明者らは、成分組成とA値およびB値とを変化させた鉄筋用鋼から鉄筋を作製し、その引張強さ、表層硬さおよび曲げ加工性、さらには組織を調査した。なお、引張強さ、表層硬さおよび曲げ加工性は、後述する試験方法に従って測定を行った。また、組織は、HV300以下の範囲における組織と、芯部(1/2D部:Dは鉄筋の直径)の組織を調査した。表3に成分組成を、表4に引張強さ、HV300以下の範囲および曲げ加工性の評価結果を、それぞれ示す。

【0038】

ここで、評価を行うに当たり、鉄筋の製造条件は同じにした。すなわち、製造条件は、次の通りである。

まず、真空溶解で溶製した鋼塊を1100℃に加熱後、熱間鍛伸を行って直径11.5mmの丸棒にした。得られた丸棒を、ASTM E 8に記載の平行部1/4in.の引張試験片に加工し、焼入れ・焼戻し処理を行った。このときの焼入れ処理の加熱温度、保持時間、および、焼戻し処理の焼戻し温度および保持時間は表4に示すとおりである。なお、曲げ加工性は、上述の熱間鍛伸後の丸棒を500mm長さに切断後、上述した条件で焼入れ・焼戻し処理を実施し、後述する試験方法で試験を実施した。

【0039】

表4に、引張強さ、HV300以下の範囲および曲げ加工性の評価結果を示す。この表に示すように、A値およびB値とともに本発明の範囲内に制御した場合、良好な引張強さ、HV300以下の範囲および曲げ加工性が得られることが分かる。以上のことから、A値は、770以上850以下、B値は0.40以上の範囲に調整することによって、鉄筋とした際に高強度でありながら曲げ加工性が向上することが判明した。

【0040】

10

20

30

【表3】

[表3]

化学成分(質量%)

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

10

【0041】

[表4]

[表4]

鋼No.	Ac3 (°C)	加熱 温度 (°C)	保持 時間 (秒)	焼戻 し温 度	保持 時間 (秒)	HV300以下の 範囲(μm)	HV300以下の 範囲の組織 (*)	芯部組織 (*)	引張強さ (MPa)	曲げ加工性	備考
A-1	839	1000	30	600	30	0	-	M	1443	○	基準鋼
B-1	879	950	45	300	30	30	α	M	1998	○	発明鋼
B-2	848	1000	30	200	30	25	α	M	2244	○	発明鋼
B-3	870	1000	600	350	30	55	α	M	1871	○	発明鋼
B-4	876	1000	30	550	30	10	α	M	1635	○	発明鋼
B-5	857	950	45	200	30	20	α	M	2252	○	発明鋼
B-6	856	900	30	300	30	25	α	M	2085	○	発明鋼
B-7	848	880	300	200	30	50	α	M	2266	○	発明鋼
B-8	843	950	60	250	30	25	α	M	2152	○	発明鋼
B-9	862	950	15	150	30	20	α	M	2298	○	発明鋼
B-10	845	1000	600	300	30	5	α	M	2012	×	比較鋼
B-11	850	1000	15	550	30	20	α	M	1521	○	比較鋼
B-12	861	1000	20	150	30	35	α	M	2389	×	比較鋼

30

(*) α : フェライト
M: 焼戻しマルテンサイト

○ 割れなし
× 割れあり

【0042】

以上の実験結果を総合すると、成分組成、特にA値およびB値を上記した範囲に規制することによって、鉄筋用鋼において表面から少なくとも20 μmの厚み領域の硬さがHV250以下、かつ表面から鋼材の径の1/4の深さ域(1/4 D部)の硬さがHRC40以下になること、さらに、焼入れ焼戻し後の、表面から少なくとも10 μmの厚み領域の硬さがHV300以下になることがわかる。なお、表層の硬度を上記の通りに規制することが好ましい。この理由は、次のとおりである。

40

【0043】

表面から少なくとも20 μmの厚み領域の硬さがHV250以下

表面から少なくとも20 μmの厚み領域の硬さがHV250以下であることが好ましい理由は、この領域の硬さがHV250超えになると、高強度鉄筋用鋼の硬度が高くなり伸線性が低下し、引抜加工時に素線の断線が生じ易くなるからである。

また、表面から少なくとも20 μmの厚みの範囲としたのは、同20 μm未満になると表面

50

からの高延性領域が小さくなり、却って引抜加工時に素線の断線が生じ易くなるからである。一方、該領域が表面から $100 \mu m$ 超えの深さまでの領域に拡大すると、高強度鉄筋としての強度が低下するため、全体として引張強さを1600MPa以上とするためには芯部の更なる高強度化が必要となり、却って、引抜加工時の伸線性や、高強度鉄筋としての曲げ加工性が低下し易くなる。従って、HV250以下とする領域は、表面から $100 \mu m$ の深さまでで十分である。

ここで、表面から少なくとも $20 \mu m$ の厚み域の硬さをHV250以下とするには、鋼を大気中で A_{c_3} 点以上に $30 / \text{分}$ 以下の加熱速度で加熱することが好適である。この工程は、後述する熱間圧延のための素材加熱工程で行うことができる。

【0044】

10

表面から鋼材の径の $1 / 4$ の深さ域の硬さがHRC40以下

表面から鋼材の径の $1 / 4$ の深さ域の硬さがHRC40以下であることが好ましい理由は、この領域がHRC40超となると、引抜加工時に加工を受ける領域が硬くなり、ダイスの寿命が短くなったり、素材の断線が生じやすくなるからである。ここで、 $1 / 4$ の深さ域とは、鋼材表面から距離が鋼材の径Dの $1 / 4$ となる部分($1 / 4 D$ 部)のことである。

【0045】

20

なお、この領域の硬さをHRC40以下とするには、鋼組織にマルテンサイト組織が生じることを回避すればよく、具体的には、熱間圧延により鉄筋用鋼線材を製造し、その際に、圧延を A_{r_3} 点以上で終了させ、その後、少なくとも $700 / \text{s}$ までの冷却速度を $2 / \text{s}$ 以下とすることが好ましい。

【0046】

焼入れ焼戻し処理後の鉄筋における、表面から少なくとも $10 \mu m$ の厚み領域の硬さがHV300以下

表面から少なくとも $10 \mu m$ の厚み領域の硬さがHV300以下であることが好ましい理由は、この領域の硬さがHV300超になると、硬度が高くなつて延性が低下するため、曲げ加工時に鉄筋表層に割れが生じ易くなる。そのため、本発明では表層域の硬さがHV300以下であることが好ましい。また、表層域について表面から少なくとも $10 \mu m$ の深さまでの範囲としたのは、 $10 \mu m$ 未満になると高延性領域が小さくなり、曲げ加工時に鉄筋表層に割れが生じ易くなるためである。以上のことから、表面から少なくとも $10 \mu m$ の厚み領域の硬さがHV300以下であることが好ましい。

30

ここで、表面から $10 \mu m$ 以上の厚み領域の硬さをHV300以下とするには、鋼を大気中で A_{c_3} 点以上に加熱することが好適である。この工程は、後述する焼入れ工程で行うことができる。

【0047】

40

なお、HV300以下とする領域は、表面からの深さで $10 \mu m$ 以上 $150 \mu m$ 程度まであれば十分である。すなわち、HV300以下とする表面からの深さ領域が $150 \mu m$ 超となると、却って鉄筋の強度が低下するため、HV300以下とする領域の表面からの深さは $150 \mu m$ 以下とすることが好ましい。また、HV300以下とする領域は、フェライト単相組織とすることが好ましい。なぜなら、曲げ加工時には表層に応力集中が生じるが、HV300以下の領域がフェライト単相組織であれば、フェライトの高延性によって応力集中が緩和され曲げ加工性がより良好となるためである。なお、ベイナイト組織もある程度の延性を有するため、HV300以下を満足できる範囲で組織中に混入してもよい。一方、鉄筋の芯部組織は、鉄筋としての強度を確保するためにマルテンサイト組織であることが好ましい。

【0048】

さらに、本発明の鉄筋用鋼は、強度を高めたり、鉄筋における曲げ加工性を向上させたりするため、上記成分に加えて、以下の諸成分を含有することができる。

Al : 0.50質量%以下、Cu : 1.0質量%以下およびNi : 2.0質量%以下のうちの1種または2種以上

CuおよびNiは、焼入れ性や焼戻し後の強度を高める元素であり、選択して添加することができる。このような効果を得るためにには、CuおよびNiは0.005質量%以上で添加するこ

50

とが好ましい。しかし、Cuは1.0質量%およびNiは2.0質量%を超えて添加すると、却って合金コストが上昇するため、Cuは1.0質量%およびNiは2.0質量%を上限として添加するのが好ましい。

また、Alは脱酸剤として有用であり、さらに、焼入れ時のオーステナイト粒成長を抑制することによって、強度の維持に有効な元素であるため、好ましくは0.01質量%以上で添加する。しかしながら、0.50質量%を超えて添加しても、その効果は飽和してコスト上昇を招く不利が生じる上、鋼中の酸化物が増加し、曲げ加工時の起点となり曲げ加工性が低下する。よって、Alは0.50質量%を上限として添加することが好ましい。

【0049】

W : 2.0質量%以下、Nb : 0.1質量%以下、Ti : 0.2質量%以下およびV : 0.5質量%以下のうちの1種または2種以上 10

W、Nb、TiおよびVは、いずれも焼入れ性や焼戻し後の鋼の強度を高める元素であり、必要とする強度に応じて選択して添加することができる。このような効果を得るためにには、W、NbおよびTiは、それぞれ0.001質量%以上、Vは0.002質量%以上添加するが好ましい。しかし、Vは0.5質量%、Nbは0.1質量%およびTiは0.2質量%を超えて添加すると、鋼中に硬質な炭化物・窒化物・炭窒化物が多量に生成し、曲げ加工時に亀裂発生の起点となり易く、曲げ加工性の低下を招く。Nb、TiおよびVは、それぞれ上記の値を上限として添加するのが好ましい。また、Wは2.0質量%を超えて添加すると、高強度化による伸線性の低下や曲げ加工性の低下および、合金コストの上昇を招く。よって、Wは、2.0質量%を上限として添加するのが好ましい。 20

【0050】

B : 0.005質量%以下

Bは、焼入れ性の増大により焼戻し後の鋼の強度を高める元素であり、必要に応じて含有することができる。上記効果を得るためにには、0.0002質量%以上で添加するのが好ましい。しかし、0.005質量%を超えて添加すると、曲げ加工性が劣化する。よって、Bは0.002~0.005質量%の範囲で添加するのが好ましい。

【0051】

以上の成分組成を有する鋼塊は、転炉による溶製および真空溶製のいずれによるものでも使用できる。そして、鋼塊、スラブ、ブルームまたはビレットなどの素材は、加熱されて熱間圧延され、酸洗してスケール除去された後に伸線されて所定の太さに整えられ、熱処理を施して、鉄筋用鋼に供される。 30

【0052】

本発明の鉄筋用鋼を用いて製造される鉄筋では、以上の成分組成を有し、且つ引張強さで1600MPa以上であることが好ましい。すなわち、引張強さが1600MPa未満では、鉄筋のコンクリート高強度化に対応できないため、1600MPa以上は必要である。

【0053】

ここで、引張強さを1600MPa以上とするには、上記成分組成を有する鋼を熱間圧延したのち、スケールを除去した鉄筋用鋼を、その後伸線して所定の太さに整え、大気中でAc₃点以上に加熱して焼入れ（冷却速度は60 / s以上）し、次いで焼戻しを100~600 の温度範囲で行うことが好ましい。すなわち、焼戻し温度は、曲げ加工性確保の観点から100 以上が好ましく、引張強さ1600MPa以上を確保する観点から600 以下とすることが好ましい。 40

【0054】

上記の製造過程を経て製造された鉄筋は、その芯部の組織は、焼き戻しマルテンサイトとなる。また、伸線した後にも表層部には脱炭層があり、さらに焼入れ・焼戻しによっても脱炭が促進されるため、表層部は芯部に比べて硬度が低くなる。すなわち、本発明の鉄筋における金属組織は、上述した表層域がフェライト単相組織または、フェライトおよびベイナイトの混合組織であり、その径方向内側の組織は焼き戻しマルテンサイトとなる。その結果、優れた曲げ加工性を有する高強度の鉄筋となる。

【0055】

10

20

30

40

50

かくして得られた鉄筋は、安価に製造できるにも関わらず、高強度でありながら優れた曲げ加工性を有し、1600MPa以上の高強度を必要とする、高層マンションなどのせん断補強筋への適用が可能である。

【実施例 1】

【0056】

表5に示す成分組成に従って鋼を溶製し、連続铸造してビレットとしたのち、表6に示す加熱速度および加熱温度に従って加熱し、圧延終了温度をAr₃点以上とする熱間圧延を施し、その後、少なくとも700℃までの冷却速度を表6に示すとおり2℃/s以下として冷却することにより、直径Dが13.5mmの線材を製造した。その後、線材の先端、中間、尾端から直径が13.5mm、長さが5mmのサンプルを採取し、圧延方向に垂直な面（直径13.5mmの面）の表層の硬度、表層の組織、1/4Dの硬度、組織を後述した条件で測定、観察した。
10

【0057】

次に、高強度鉄筋としての特性を評価するために、得られた線材に対して、12.6mmに引抜加工を行い、その後、大気中で1000℃に加熱後300秒保持し、60℃の油で冷却し、350℃加熱後30秒保持し、水冷して焼入れ焼戻しを行った。鉄筋用鋼材としての伸線性は、この引抜加工時に素線が断線したかどうかで判断し、断線しなければ良好な伸線性を有していると判断した。

さらに、焼入れ焼戻し後の線材に対して、ASTM E8に記載の平行部1/4in.の引張試験片に加工し、後述する試験方法で引張試験を実施するとともに、同試験片を用いて表層硬度と組織を調査した。また、曲げ試験片は、直径Dが11.5mmの線材を500mm長さに切断したのち、上述した熱処理条件での焼入れ焼戻しを行った。
20

【0058】

【表層硬度測定】

HV250以下の硬さの範囲の調査は、引抜加工前の線材（鉄筋用鋼）の先端、中間、尾端から直径が13.5mm、長さが5mmのサンプルを採取して行った。このサンプルを被検面が圧延方向に垂直な面（直径13.5mmの面）になるように埋め込み、鏡面研磨後、株式会社アカシ製微小硬さ試験機（HM-115）で荷重10gf、10μm深さピッチで測定を実施し、HV250以下となる領域を求めた。
30

【0059】

【1/4D部硬度測定】

上述した表層硬度測定を行ったサンプルを用いて、1/4D部（Dは線材の直径）の硬度をミツトヨ製ロックウェル硬さ試験機（ARK-600）でCスケール、4点測定し平均を求めた。

【0060】

【ミクロ組織観察】

上述した硬度測定を行ったサンプルを用いて、3%ナイタルで腐食後、HV250の範囲の組織、1/4D部の組織観察を行った。組織観察は500倍の倍率で観察を行った。

【0061】

【伸線性】

伸線性は、直径13.5mmの鉄筋用鋼を12.6mmに引抜加工を行うときの、断線の有無により評価した。断線回数は200m引抜加工時に断線した回数を示しており、断線が1回でも発生した場合に伸線性が低下したと判断した。
40

【0062】

【曲げ試験】

鉄筋としての曲げ特性を調べるために、引抜加工、熱処理後の線材から、直径Dの4倍の曲げ直径（4D）で180°曲げを行い、曲げ加工性を評価した。曲げ加工後の線材に対して、浸透探傷試験を行って割れの有無を調査した。

【0063】

【引張試験】

10

20

30

40

50

高強度鉄筋としての引張特性を調べるために、引抜加工、熱処理後の線材から、ASTM E 8に記載の平行部の直径 $1/4\text{in}$.の引張試験片を採取して、評点間距離 25.4mm および引張速度 5 mm / 分 にて試験を実施した。本発明では、引張強さが 1600MPa 以上であれば高強度鉄筋が得られたとして評価した。

【 0 0 6 4 】

[焼入れ焼戻し後における表層の硬度測定]

HV300以下の範囲の調査は、上述した引張試験片で熱処理を実施し、平行部の中央部を切り出し、樹脂に埋め込み、鏡面研磨後、株式会社アカシ製の微小硬さ試験機(HM-115)を用いて、荷重 10gf で表面から順に $5\text{ }\mu\text{m}$ 深さピッチでの測定を実施し、HV300以下の領域を特定した。

10

【 0 0 6 5 】

[焼入れ焼戻し後における組織の観察]

HV300以下の範囲における組織と、芯部($1/2\text{D}$ 部: Dは線材の直径)の組織とを、それぞれ次のようにして観察した。すなわち、上述した硬度測定を行ったサンプルを用いて、3%ナイタルで腐食後、HV300以下の範囲の組織と、 $1/2\text{D}$ 部の組織の組織観察を行った。組織観察は、500倍の倍率で行い、それぞれの位置における組織の同定を行った。

【 0 0 6 6 】

【表5】

鋼No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	O	Al	Cu	Ni	W	Nb	Ti	V	B	A1直	B値	Ac3点	Ar3点	備考		
A-1	0.33	1.50	1.30	0.009	0.005	0.70	0.35	0.0009										684	0.45	839	747	基準鋼	
C-1	0.38	1.95	0.42	0.010	0.006	0.21	0.06	0.0010										771	0.51	872	820	発明鋼	
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	発明鋼		
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	発明鋼		
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	発明鋼		
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	比較鋼		
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	発明鋼		
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	発明鋼		
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	発明鋼		
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	発明鋼	
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	発明鋼	
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	比較鋼		
C-12	<u>0.35</u>	2.20	0.62	0.007	0.006	0.25	0.09	0.0007	0.03	0.10	0.10	0.10		0.021			796	0.63	879	813	比較鋼		
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	比較鋼		
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	比較鋼		
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	比較鋼		
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	発明鋼
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	発明鋼	
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	発明鋼		
C-19	0.42	1.92	0.32	0.006	0.004	1.00	0.40	0.0010						0.01			802	0.46	864	800	発明鋼		
C-20	0.42	1.81	<u>1.10</u>	0.007	0.005	0.33	0.11	0.0010	0.02					0.01			773	0.43	834	743	比較鋼		
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	比較鋼		
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	発明鋼		
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	発明鋼		
C-24	0.42	1.99	0.85	0.006	0.004	0.04	0.21	0.0008	0.03					0.25			795	0.47	848	779	発明鋼		
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	比較鋼		
C-26	0.40	2.25	0.62	0.007	0.005	0.05	0.05	0.0009	0.21	0.44							827	0.56	869	785	比較鋼		

[表5]

【0067】

表6に、鉄筋用鋼の、HV250以下の範囲とその組織、1/4D部の組織とその硬度、引抜加工時の伸線性と、該伸線後の線材に焼入れ焼戻し処理を施して作製した、鉄筋の表層

硬さ、組織、引張強さおよび曲げ加工性と、の各評価結果を示す。本発明の成分組成およびA値、B値を満たす、C - 1 ~ 4、C - 6 ~ 10、C - 16 ~ 19およびC - 22 ~ 24の鋼は、引抜加工時の伸線性、鉄筋の引張強さおよび曲げ加工性が良好であることが分かる。これに対して、成分組成が本発明範囲内であっても、B値が本発明の範囲を満たさないC - 5の鋼は、HV250以下の範囲が本発明の範囲を満足できず、曲げ加工性が低下していることが分かる。また、成分組成が本発明の範囲を満たさないC - 11 ~ 15、C - 20 ~ 21およびC - 25 ~ 26の鋼は、引抜加工時の伸線性、高強度鉄筋での引張強度、曲げ加工性のいずれかが低下していることが分かる。

【0068】

【表 6】

鋼No.	熱間圧延条件			HV250以下の範囲(μm)	HV250以下の範囲の組織	1/4D部組織	1/4D部硬度(HRC)	引抜加工時の破断回数	伸線性	HV300以下の範囲(μm)	HV300以下の範囲の組織	芯部組織	引張強さ(MPa)	曲げ加工性	備考	
	加熱温度(°C)	加熱速度(°C/分)	終了温度(°C)													
A-1	1000	2	810	1.0	0	B	39	0	○	0	—	M	1443	○	基準鋼	
C-1	1000	10	830	1.5	50	α	24	0	○	40	α	M	1843	○	発明鋼	
C-2	1000	10	800	1.0	50	α	33	0	○	45	α	M	1915	○	発明鋼	
C-3	880	10	820	1.5	50	α	26	0	○	40	α	M	1886	○	発明鋼	
C-4	950	15	800	1.0	20	α +B	37	0	○	15	α +B	M	2185	○	発明鋼	
C-5	850	10	800	1.0	10	α	26	2	×	5	α	M	1903	×	比較鋼	
C-6	950	10	800	1.0	30	α	33	0	○	20	α	M	1987	○	発明鋼	
C-7	850	15	750	0.3	70	α	31	0	○	55	α	M	1967	○	発明鋼	
C-8	950	1	800	1.0	20	α	32	0	○	10	α	M	1972	○	発明鋼	
C-9	1000	5	830	1.5	70	α	28	0	○	100	α	M	1869	○	発明鋼	
C-10	1000	5	800	1.0	50	α	32	0	○	45	α	M	1918	○	発明鋼	
C-11	860	10	800	1.0	10	α	B+M	43	4	×	5	α	M	2008	×	比較鋼
C-12	880	10	850	1.5	70	α	α +P	25	0	○	65	α	M	1526	○	比較鋼
C-13	860	5	800	1.0	10	α	α +P	26	3	×	5	α	M	1903	×	比較鋼
C-14	950	10	800	1.0	60	α	α +P	26	1	×	50	α	M	1908	×	比較鋼
C-15	950	10	800	1.0	60	α	α +P	32	3	×	55	α	M	2000	×	比較鋼
C-16	900	10	790	1.0	70	α	α +P	31	0	○	55	α	M	1955	○	発明鋼
C-17	950	10	790	0.8	30	α	α +P	35	0	○	20	α	M	1948	○	発明鋼
C-18	950	10	800	1.3	70	α	α +P	30	0	○	75	α	M	1909	○	発明鋼
C-19	1000	15	850	2.0	30	α	α +P	36	0	○	30	α	M	1999	○	発明鋼
C-20	1000	10	800	1.0	30	α	α +P	33	1	×	25	α	M	1951	×	比較鋼
C-21	1000	10	820	1.0	20	α	α +P	34	2	×	20	α	M	2008	×	比較鋼
C-22	950	25	800	1.1	30	α	α +P	33	0	○	30	α	M	1972	○	発明鋼
C-23	950	0.5	800	1.0	20	α	α +P	28	0	○	10	α	M	1902	○	発明鋼
C-24	950	30	820	1.0	40	α	α +P	29	0	○	35	α	M	1912	○	発明鋼
C-25	1000	10	850	1.5	20	α	α +P	28	0	○	20	α	M	1535	○	比較鋼
C-26	1000	10	800	1.0	40	α	α +P	26	0	○	30	α	M	1523	○	比較鋼

○ 割れなし
× 割れあり

α フェライト
P パーライト
B ベイナイト
M 焼戻しマルテンサイト

【実施例 2】

【0069】

表 7 に示す成分組成に従って鋼を溶製し、連続铸造してビレットとしたのち、表 8 に示

す加熱速度および加熱温度に従って加熱し、圧延終了温度を A_{r_3} 点以上とする熱間圧延を施し、その後、少なくとも 700 $^{\circ}\text{C}$ までの冷却速度を表 8 に示すとおり 2 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下として冷却することにより、直径 D が 13.5mm の線材を製造した。その後、線材の先端、中間、尾端から直径が 13.5mm、長さが 5 mm のサンプルを採取し、圧延方向に垂直な面（直径 13.5 mm の面）の表層の硬度、表層の組織、 $1/4D$ の硬度、組織を上述の実施例 1 の場合と同様に測定、観察した。

【0070】

次に、高強度鉄筋としての特性を評価するために、得られた線材に対して、11.5mm に引抜加工を行い、その後、表 8 に示す条件に従って、大気中で A_{c_3} 点以上 1200 $^{\circ}\text{C}$ 以下の温度域に加熱後、60 $^{\circ}\text{C}$ の油中で冷却したのち、100 $^{\circ}\text{C}$ 以上 600 $^{\circ}\text{C}$ 以下の温度域に加熱・保持後、水冷して焼入れ・焼戻しを行った。伸線性は、この引抜加工時に素線が断線したかどうかで判断し、断線しなければ良好な伸線性を有していると判断した。10

焼入れ焼戻し後の線材に対して、ASTM E 8 に記載の平行部 1/4in. の引張試験片に加工し、上述の実施例 1 の場合と同様に試験を実施した。

【0071】

【表7】

鋼No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	O	Al	Cu	Ni	W	Nb	Ti	V	B	A値	B値	Ac3 (°C)	Ar3点	備考		
A-1	0.33	1.50	1.30	0.009	0.005	0.70	0.35	0.0009										684	0.45	839	747	基準鋼	
D-1	0.38	1.85	0.42	0.010	0.006	1.06	0.07	0.0010										770	0.49	869	804	発明鋼	
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	発明鋼	
D-3	0.44	2.22	0.42	0.008	0.004	0.11	0.15	0.0007	0.02					0.023				845	0.50	866	811	発明鋼	
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	発明鋼	
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	比較鋼	
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	発明鋼	
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	発明鋼		
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	発明鋼	
D-9	0.42	1.82	0.53	0.008	0.006	0.21	0.11	0.0008						0.72	0.099			772	0.43	862	794	発明鋼	
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	比較鋼	
D-11	<u>0.52</u>	2.30	0.45	0.007	0.004	0.11	0.15	0.0008	0.02								898	0.44	849	789	比較鋼		
D-12	<u>0.35</u>	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	比較鋼		
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	比較鋼		
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	比較鋼		
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	比較鋼		
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	発明鋼
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	発明鋼	
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	発明鋼		
D-19	0.42	1.92	0.32	0.006	0.004	1.00	0.40	0.0010									802	0.46	864	800	発明鋼		
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	比較鋼		
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	比較鋼		
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	発明鋼		
D-23	0.40	1.80	0.53	0.008	0.006	1.00	0.11	0.0007	0.03	0.70				0.033	0.11	0.0021	772	0.45	850	749	発明鋼		
D-24	0.42	1.99	0.85	0.006	0.004	0.04	0.21	0.0008	0.03					0.05	0.0033	0.795	0.47	850	779	発明鋼			
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	比較鋼		
D-26	0.38	2.10	0.62	0.007	0.005	0.05	0.05	0.0009	0.21	0.44							791	0.55	859	787	比較鋼		

[表7]

【0072】

表8に、鉄筋用鋼の、HV250以下の範囲とその組織、1/4D部の組織とその硬度、引抜加工時の伸線性と、該伸線後の線材に焼入れ焼戻し処理を施して作製した、鉄筋の表層

硬さ、組織、引張強さおよび曲げ加工性と、の各評価結果を示す。本発明の成分組成とA値およびB値とを満たす、D - 1 ~ 4、D - 6 ~ 10、D - 16 ~ 19およびD - 22 ~ 24の鋼は、曲げ加工性が良好であることが分かる。これに対して、成分組成が本発明範囲内であっても、B値が本発明の範囲を満たさないD - 5の鋼は、HV300以下の範囲が小さい結果、曲げ加工性が低下していることが分かる。また、成分組成が本発明の範囲を満たさないD - 11 ~ 15、D - 20 ~ 21およびD - 25 ~ 26の鋼は、引張強さ、HV300以下の範囲、曲げ加工性のいずれかが低下していることが分かる。

【 0 0 7 3 】

【表8】

鋼No.	熱間圧延条件			焼入れ焼戻し条件			HV250以下 の範囲 (μm)	HV250以 下の範囲 の組織	1/4D部 組織	1/4D部 硬度 (HRc)	引抜加 工時の 破断回 数	HV300以 下の範囲 (μm)	HV300以 下の範囲 の組織	芯部組織	引張強さ (MPa)	曲げ加工性	備考			
	加熱 温度 (°C)	加熱 速度 (°C/分)	冷却 速度 (°C/分)	焼入 保持 時間 (秒)	焼戻し 保持 時間 (秒)	焼戻し 温度 (°C)														
A-1	1000	2	810	1.0	900	30	70	600	30	-	B	39	0	○	0	-	M	1443	○	
D-1	1000	10	820	1.5	900	15	70	300	20	α	α+P	24	0	○	20	α	M	2012	○	
D-2	1000	10	810	1.2	900	15	65	350	20	α	α+P	32	0	○	20	α	M	1905	○	
D-3	880	10	820	1.5	900	300	70	250	15	α+B	α+B+P	25	0	○	50	α+B	M	2105	○	
D-4	950	15	790	0.9	950	20	75	550	600	30	α	α+P	36	0	○	25	α	M	1639	○
D-5	850	10	800	1.0	950	10	70	320	15	10	α	α+P	25	2	×	5	α	M	1968	×
D-6	950	10	790	0.9	900	30	65	350	30	α	α+P	32	0	○	25	α	M	1982	○	
D-7	850	15	740	0.3	850	600	60	350	30	α	α+P	32	0	○	50	α	M	1967	○	
D-8	950	1	800	1.0	900	30	75	350	20	α	α+P	33	0	○	20	α	M	1972	○	
D-9	1000	5	820	1.4	950	10	70	300	25	α	α+P	27	0	○	20	α	M	1983	○	
D-10	1000	5	790	1.0	950	10	80	320	30	40	α	α+P	32	0	○	25	α	M	1984	○
D-11	860	10	800	1.0	900	10	65	160	20	10	α	B+M	42	4	×	5	α	M	2354	×
D-12	880	10	840	1.5	900	10	65	550	20	50	α	α+P	25	0	○	45	α	M	1424	○
D-13	860	5	800	1.0	900	10	70	550	15	10	α	α+P	25	0	○	5	α	M	1447	×
D-14	950	10	800	1.0	900	200	70	250	30	60	α	α+P	26	3	×	40	α	M	2127	×
D-15	950	10	800	0.9	950	30	75	300	40	30	α	α+P	32	3	×	15	α	M	2109	×
D-16	900	10	790	1.0	950	15	65	350	20	α	α+P	30	0	○	20	α	M	1955	○	
D-17	950	10	800	0.8	900	10	75	300	15	30	α	α+P	35	0	○	15	α	M	2057	○
D-18	950	10	810	1.2	950	30	70	200	30	50	α	α+P	31	0	○	25	α	M	2237	○
D-19	1000	15	860	2.0	1000	20	80	250	30	30	α	α+P	35	0	○	15	α	M	2218	○
D-20	1000	10	800	1.0	950	15	75	160	15	20	α	α+P	33	2	×	10	α	M	2360	×
D-21	1000	10	820	1.1	900	15	75	200	15	20	α	α+P	34	2	×	10	α	M	2336	×
D-22	950	25	800	1.0	950	15	70	220	100	20	α	α+P	32	0	○	10	α	M	2256	○
D-23	950	0.5	790	0.9	950	20	75	160	600	30	α	α+P	29	0	○	20	α	M	2282	○
D-24	950	30	810	1.0	900	30	70	350	15	20	α	α+P	28	0	○	15	α	M	1912	○
D-25	1000	10	850	1.5	950	15	75	400	30	20	α	α+P	28	0	○	10	α	M	1473	○
D-26	950	10	810	1.1	950	30	75	400	30	30	α	α+P	27	0	○	15	α	M	1458	○

(*) α : フェライト
 M: 焼戻しマルテンサイト
 B: ベイナイト
 ○: 寄れなし
 ×: 割れあり

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
C 2 1 D 9/00 (2006.01) C 2 1 D 9/00 H

(72)発明者 遠藤 茂
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

審査官 守安 太郎

(56)参考文献 特開2011-246811 (JP, A)
特開平07-173577 (JP, A)
特開2004-076086 (JP, A)
特開昭59-177317 (JP, A)
特開2002-327243 (JP, A)
特開平07-040331 (JP, A)
特開平09-324215 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 2 2 C 38/00 - 38/60
C 2 1 D 8/08
C 2 1 D 9/00