

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7380957号
(P7380957)

(45)発行日 令和5年11月15日(2023.11.15)

(24)登録日 令和5年11月7日(2023.11.7)

(51)国際特許分類

F I

C 2 2 C 38/00 (2006.01)

C 2 2 C

38/00

3 0 1 Z

C 2 2 C 38/60 (2006.01)

C 2 2 C

38/60

C 2 1 D 8/00 (2006.01)

C 2 1 D

8/00

B

請求項の数 6 (全24頁)

(21)出願番号 特願2023-535787(P2023-535787)

(86)(22)出願日 令和5年1月26日(2023.1.26)

(86)国際出願番号 PCT/JP2023/002508

審査請求日 令和5年6月12日(2023.6.12)

(31)優先権主張番号 特願2022-12396(P2022-12396)

(32)優先日 令和4年1月28日(2022.1.28)

(33)優先権主張国・地域又は機関

日本国(JP)

早期審査対象出願

(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 230118913

弁理士 杉村 光嗣

(74)代理人 100165696

弁理士 川原 敬祐

(72)発明者 多田 雅史

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

(72)発明者 福岡 和明

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】 鋼部品およびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で

C : 0.21 ~ 0.24 %、

S i : 0.11 ~ 0.25 %、

M n : 1.81 ~ 1.99 %、

P : 0.014 ~ 0.025 %、

S : 0.035 ~ 0.060 %、

C r : 0.55 ~ 0.65 %、

A l : 0.010 ~ 0.050 %、

T i : 0.005 ~ 0.020 %、

V : 0.15 ~ 0.20 %および

N : 0.0090 ~ 0.0150 %

を、以下の(1)式で得られるF1の値が0.65%以上となる範囲にて含み、残部がF eおよび不可避免的不純物である成分組成と、ベイナイト組織の面積率が85%以上かつ残留オーステナイトの面積率が5%以下である組織とを有し、

前記ベイナイト組織の結晶粒は、平均径が10 μm以上25 μm以下、平均アスペクト比が0.5以上、および、結晶粒の円周に対する結晶粒界の長さの平均比が60以下である、鋼部品。

$$F1 = C + Si / 24 + Mn / 6 + Ni / 40 + Cr / 5 + Mo / 4 + V / 14 \cdots (1)$$

ここで、(1) 式中の各元素記号は、当該元素の含有量（質量％）であり、含有されない元素については0としてF1を算出するものとする。

【請求項2】

前記鋼部品の表面下1mmにおけるビッカース硬さの最大値 Hv_1 と最小値 Hv_2 との差の最大値 Hv_1 に対する比 $((Hv_1 - Hv_2) / Hv_1) \times 100$ が10％以下である、請求項1に記載の鋼部品。

【請求項3】

前記成分組成は、さらに質量％で

Cu：0.25％以下、

Ni：0.25％以下、

Mo：0.15％以下および

Nb：0.030％以下

のいずれか1種以上を含有する請求項1または2に記載の鋼部品。

【請求項4】

質量％で

C：0.21～0.24％、

Si：0.11～0.25％、

Mn：1.81～1.99％、

P：0.014～0.025％、

S：0.035～0.060％、

Cr：0.55～0.65％、

Al：0.010～0.050％、

Ti：0.005～0.020％、

V：0.15～0.20％および

N：0.0090～0.0150％

を、以下の(1)式で得られるF1の値が0.65％以上となる範囲にて含み、残部がFeおよび不可避免の不純物である成分組成を有する鋼素材を、1150℃以上に加熱・保持後に熱間鍛造を施して熱間鍛造材とし、次いで、前記熱間鍛造材に、1000℃から800℃までを0.7℃/s以上3.5℃/s以下、かつ800℃から550℃までを0.5℃/s以上2.0℃/s以下の平均冷却速度にて、冷却を施す、ベイナイト組織の面積率が85％以上かつ残留オーステナイトの面積率が5％以下である組織とを有し、前記ベイナイト組織の結晶粒は、平均径が10μm以上25μm以下、平均アスペクト比が0.5以上、および、結晶粒の円周に対する結晶粒界の長さの平均比が60以下である、鋼部品の製造方法。

$$F1 = C + Si / 24 + Mn / 6 + Ni / 40 + Cr / 5 + Mo / 4 + V / 14 \cdots (1)$$

ここで、(1) 式中の各元素記号は、当該元素の含有量（質量％）であり、含有されない元素については0としてF1を算出するものとする。

【請求項5】

前記成分組成は、さらに質量％で

Cu：0.25％以下、

Ni：0.25％以下、

Mo：0.15％以下および

Nb：0.030％以下

のいずれか1種以上を含有する請求項4に記載の鋼部品の製造方法。

【請求項6】

前記800℃から550℃までの冷却は、前記熱間鍛造材における冷却速度分布の最高値 V_1 と最低値 V_2 との差の最大値 V_1 に対する比 $((V_1 - V_2) / V_1) \times 100$ が25％以下にて行う、請求項4または5に記載の鋼部品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、鋼部品、例えば自動車やトラックの足回り、より具体的にはナックルやフロントアクスルに用いられる鋼部品およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、地球温暖化に対する懸念から、産業界においてもCO₂の排出抑制を求める声が高い。このような要望の元、自動車業界においても、自動車そのものからの排ガスとしてのCO₂の排出抑制を進めるだけでなく、部品の製造工程におけるCO₂の排出抑制も種々検討されている。こういった自動車部品の製造工程におけるCO₂排出抑制の一技術として、部品強度の作り込み過程である熱処理を省略した、すなわち鋼の調質工程を省略した非調質部品の開発が活発である。この熱処理の省略を可能にするのは、例えば、部品の製造工程における、熱間鍛造工程後の部品の冷却中に部品強度の作り込みを可能とする工夫が施されているからである。

10

【0003】

非調質部品は、その金属組織の種類により2つに大別される。すなわち、主たる金属組織がいわゆるフェライトとパーライトの2相からなるもの、または主たる金属組織がベイナイトからなるものである。前者のフェライトとパーライトからなる非調質鋼では、専らバナジウムによる析出強化が用いられる。すなわち、部品の熱間鍛造後の冷却過程においてバナジウム炭化物が微細に析出し組織を析出強化するため、熱間鍛造後の状態で調質処理を行ったのと同レベルの部品強度が得られるのである。一方のベイナイト組織の非調質部品の強化機構は変態強化である。すなわち、熱間鍛造後の冷却過程においてベイナイト変態させることで強度と靱性の両方に優れた組織を作り込むのである。どちらの非調質鋼が用いられるかは、部品の要求特性によるが、一般に強度と靱性の両立を求められる部品ではベイナイト組織の非調質鋼が用いられる傾向にある。

20

【0004】

ベイナイト組織を有する非調質鋼は、上記のように強度と靱性のバランスが良いが、一般に降伏応力は低くなり、鋼材の最高強度である引張強さに対する降伏応力の比、いわゆる降伏比が低い傾向にある。また、この降伏応力は引張強度と比して変動（バラツキ）が大きい。機械構造用鋼の設計では、鋼材の最高強度よりも塑性変形が始まる強度である降伏応力の方が重要であることは論を待たない。このような設計の観点からすると、降伏応力が低い鋼は、いくら引張強さや靱性が良好でも使用しづらい。これがベイナイト組織を有する鋼の課題である。

30

【0005】

このような課題を解決する技術として、特許文献1や特許文献2が提案されている。特許文献1には、熱間鍛造後の冷却を制御して室温まで冷却したのちに400℃から700℃の温度範囲で焼き戻すことにより、降伏比及び耐久比（小野式回転曲げ疲労試験における10⁷回転での疲労強度の引張強さに対する比率）を向上させる技術が提案されている。また、特許文献2には、熱間加工後の冷却速度を制御して室温まで冷却後に200℃～600℃で焼き戻すことにより降伏応力を高める技術が提案されている。

【0006】

しかし、これら技術は、熱間鍛造後に焼き戻しを必要とすることから、非調質化のメリットを大きく損なうことになる。そこで、焼き戻しを行うことなく要求特性を満足する技術の追求も行われてきた。

40

【0007】

例えば、特許文献3では、熱間鍛造後の冷却に際し冷却途中の200℃～500℃の間に指定の冷却速度での徐冷を行って降伏応力を向上させる技術が提案されている。しかし、特定の温度域から徐冷を行うためには、既存の冷却設備に改変を加える設備投資が不可欠である。近年、自動車、トラックの組み立て工場自体が日本国以外の東南アジアなどの諸国に建設されるようになり、これに伴い熱間鍛造部品の現地調達化も進んでいる。東南アジアの諸国などで建設されている工場では、熱間鍛造後の鍛造品を鋼製の箱の中に段積

50

みすることが多い。この場合、箱の底面付近の鍛造品と、箱の上部に積まれる鍛造品と、では冷却速度に有意差があることが想定される。また、箱は立方体であることがほとんどであり、箱の四隅付近の鍛造品、箱の側面付近の鍛造品、そして箱の中心部付近の鍛造品の間でも、それぞれ冷却速度が異なってくる。非調質鋼の強度作り込み工程は熱間鍛造後の冷却過程が主であるので、その冷却時の冷却速度の制御は重要である。この冷却速度の制御が十分になされない可能性があるのが現地調達における問題である。この問題に対処するために、上記した特許文献3に従う技術を導入するには、これら諸国の工場で、熱間鍛造後の徐冷のための専用設備を設ける必要がある。しかし、かような設備を上記諸国の向上に新たに導入することは極めて難しく、そのため熱間鍛造後の冷却速度を厳密に制御せずとも所定の強度を達成できる非調質鋼が要求されている。つまり、冷却速度が少々ばらついても機械的特性があまりばらつかない非調質鋼が求められている。

10

【0008】

また、特許文献4には、降伏比及び耐久比を損なう組織的要因を島状マルテンサイトー残留オーステナイト混合組織と特定し、これを減少させる手法としてSiの添加量を減少させる技術が提案されている。しかし、Siを特許文献4に規定のレベルまで低減させた鋼を実際の製鉄プロセスで実現するためには、製鋼過程においてSiを用いない精練方法により鋼を製造しなければならず、製造コストが高価となり、経済的観点から好ましくない。

【0009】

特許文献5には、断面積が $3\mu\text{m}^2$ 以上の硫化物系介在物を $200\text{個}/\text{mm}^2$ 以上含有させることにより靱性の向上と快削化を同時に実現する技術が提案されている。しかし、この硫化物規定を実現するためには、熱間加工前に硫化物を析出・粗大化させておく必要があり、そのために熱処理を施すか、熱間加工のための加熱の際に長時間高温で保持する必要がある。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【文献】特開平05-156354号公報

【文献】特開平05-287373号公報

【文献】特開平04-285118号公報

【文献】特開平10-298703号公報

【文献】特開2001-200332号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明は、上記の状況を鑑みてなされたものである。すなわち、本発明の目的は、熱間鍛造後に調質処理を施さない、いわゆる非調質鋼、中でもベイナイト組織を有する非調質鋼の部品において、高い降伏比、具体的には0.60以上の降伏比を実現する方途について提供することにある。なお、降伏比の目標値を0.60以上とするのは、機械的特性のばらつき抑制の観点からである。すなわち、ベイナイト組織を主たる組織として有する鋼の機械的特性において、冷却速度依存性に対して、引張応力より降伏応力の方が感受性は高いといえる。換言すると、引張強度より降伏強度の方が、冷却速度の変化に伴う機械的特性の変化に対して、より大きく影響を与える。ここで、引張応力とは、引張試験において求まる公称応力-公称ひずみ曲線における最高の応力値のことである。さらに、降伏応力とは、同じ曲線における、弾性域からの0.2%オフセット応力のことである。すなわち、引張応力に対する降伏応力の比である、降伏比が、ある一定値以上となる鋼であれば、ベイナイトを主とする組織を有する非調質鋼であっても、降伏応力のばらつきが抑制されている鋼と見做すことができる。この観点からみると、ベイナイト組織の非調質鋼において降伏比が0.60以上であれば、冷却速度に対する感受性は低いとみなすことができる。

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0012】

発明者らは、上記した特許文献4や5の技術を用いることなく、焼き戻し処理をすること無しに降伏比が0.60以上となる非調質鋼を開発するべく、鋭意検討を行った。

【0013】

さて、応力がかかったときの金属の降伏現象は、大規模な転位運動の始まりである、と理解されている。すなわち、転位源に付加される応力がある閾値を超えると、その転位源から転位が発生・増殖し、そうして発生した転位が応力場に応じて運動して結晶粒界に堆積し、結晶粒界に応力が発生する。このようにして発生した結晶粒界の応力がある閾値を超えると、転位が結晶粒界の内側に堆積した結晶粒だけでなくこの結晶粒に隣接した結晶粒も巻き込んで多数の結晶粒が同時発生的に大規模な変形を起こす、マクロな変形が始まる。これが降伏現象である。

【0014】

上記した降伏の過程を見ると、降伏応力を上げるには(i)転位密度を減らす、(ii)転位源を減らす、(iii)転位源から転位が発生しにくくする、(iv)内側に転位が堆積した結晶粒の変形の閾値を高くする、方法が考えられる。しかしながら、ベイナイト組織型の非調質鋼において、降伏比のために上記の(i)、(ii)、(iii)の制御を行うことは困難である。なぜなら、ベイナイト組織型の非調質鋼では、熱間鍛造後に室温まで冷却された時点で、ベイナイト変態に伴い発生する転位密度がフェライトとパーライト組織よりも高くなっている。なおかつベイナイトは、転位源となる微細なセメンタイトの量も多い。そもそも変態時に得られる転位強化と微細なセメンタイトによる析出強化がベイナイトの強化機構である。析出物の種類や形状、分布が決まっていれば、これらの転位源から転位が発生する閾値なども自ずと決定されてしまう。転位源の制御による降伏応力の上昇はそもそものベイナイト組織型非調質鋼の開発という、コンセプトそのものと矛盾してしまう。であれば、応力負荷初期での転位の発生・増殖・堆積を許容したうえで、転位が堆積しても変形しづらい結晶粒とする必要がある。すなわち、ベイナイト組織を主とする鋼で高い降伏比を得るためには、上記(iv)の観点が重要である。

【0015】

上記(iv)の観点から、転位が堆積しても変形しづらい結晶粒とするためには、2つの方法がある。

1つ目は、結晶粒径を微細にすることである。結晶粒径が微細であれば、転位源から結晶粒界までの距離が短いため、堆積する転位の量が限定され、転位堆積による応力もその分低く抑えられる。つまり、結晶粒径は基本的に微細である方がよい。

【0016】

すなわち、ベイナイト組織の非調質鋼においては、隣接する結晶粒の結晶方位の角度差が15°以上の傾きを有する結晶粒界に囲まれる、結晶粒の平均径が25μm以下であることが必要である。一方で、結晶粒が微細になりすぎると、結晶粒界そのものが転位源として働くようになってしまうため下限が必要である。この下限は上記の平均径で10μmである。なお、結晶粒径につき、隣接する結晶粒の結晶方位の角度差が15°以上の傾きを有する結晶粒界に囲まれる結晶粒に特定するのは、これ未満の角度の結晶粒界では転位が素通りしやすい、すなわち十分の転位が堆積しないからである。

【0017】

2つ目は、結晶粒の形状である。結晶粒の形状は真球に近いほど変形しにくい。つまり、結晶粒のアスペクト比(短径/長径)はできるだけ1に近い方がよい。また、結晶粒界の長さも真円のそれに近ければ近い方がよい。ベイナイト組織の非調質鋼の場合、結晶粒のアスペクト比(短辺/長辺)が0.5以上、また、結晶粒の円周に対する結晶粒界の長さの比が平均で60以下であることが必要である。

【0018】

なお、結晶粒の円周とは、本来であれば結晶粒を真球と仮定したときに、該真球の球心を通る切断面(真円)の円周とすべきである。しかし、このような円周を求めるためには

10

20

30

40

50

、結晶粒の真の体積を知る必要がある。しかし、現状金属組織観察で行われているような切断面のミクロ組織観察結果からこの体積を算定するのは数学的処理が必要であり、非調質鋼のように集合組織の存在が予想される組織においてはこれを正確に算定することは困難を極める。そこで妥協策として、結晶粒の円周には、対象としている結晶粒を真球としたときに、その結晶粒の任意の切断面の面積から求まる円周を用いることとした。つまりこれは金属のミクロ組織観察などで観察される、いわゆる結晶粒の面積を真円と仮定したときの、結晶粒の面積を元にした真円の円周のことである。

【0019】

最後に、ベイナイト組織中に存在する残留オーステナイトの量であるが、これは面積分率で5%以下とする。残留オーステナイトの結晶構造は面心立方格子である。これに対し、ベイナイトの地の組織であるフェライトは体心立方格子であり、これは面心立方格子よりも変形しやすい。つまり、フェライト中の残留オーステナイト相は微細であるばかりでなくフェライトよりも変形しづらく、転位源として働く。そのため、残留オーステナイトの量は少なければ少ない方がよいからである。

【0020】

発明者等は、以上の降伏応力に対する組織の影響の知見を得たうえで、上記のベイナイト組織を得ることができる、鋼の合金成分バランスと、熱間鍛造後の冷却速度の組み合わせとを種々検討することにより、それぞれの範囲を絞り込み、本発明を完成させるに至った。

【0021】

すなわち、本発明の要旨構成は、次のとおりである。

1. 質量%で

C : 0.21~0.24%、
Si : 0.11~0.25%、
Mn : 1.81~1.99%、
P : 0.014~0.025%、
S : 0.035~0.060%、
Cr : 0.55~0.65%、
Al : 0.010~0.050%、
Ti : 0.005~0.020%、
V : 0.15~0.20%および
N : 0.0090~0.0150%

を、以下の(1)式で得られるF1の値が0.65%以上となる範囲にて含み、残部がFeおよび不可避免的不純物である成分組成と、ベイナイト組織の面積率が85%以上かつ残留オーステナイトの面積率が5%以下である組織とを有し、

前記ベイナイト組織の結晶粒は、平均径が10μm以上25μm以下、平均アスペクト比が0.5以上、および、結晶粒の円周に対する結晶粒界の長さの平均比が60以下である、鋼部品。

$$F1 = C + Si / 24 + Mn / 6 + Ni / 40 + Cr / 5 + Mo / 4 + V / 14 \cdots (1)$$

ここで、(1)式中の各元素記号は、当該元素の含有量(質量%)であり、含有されない元素については0としてF1を算出するものとする。

【0022】

2. 前記鋼部品の表面下1mmにおけるビッカース硬さの最大値Hv1と最小値Hv2との差の最大値Hv1に対する比((Hv1-Hv2)/Hv1)×100が10%以下である、前記1に記載の鋼部品。

【0023】

3. 前記成分組成は、さらに質量%で

Cu : 0.25%以下、
Ni : 0.25%以下、
Mo : 0.15%以下および

Nb：0.030%以下

のいずれか1種以上を含有する前記1または2に記載の鋼部品。

【0024】

4. 前記1または3に記載の成分組成を有する鋼素材を、1150℃以上に加熱・保持後に熱間鍛造を施して熱間鍛造材とし、次いで、前記熱間鍛造材に、1000℃から800℃までを0.7℃/s以上3.5℃/s以下、かつ800℃から550℃までを0.5℃/s以上2.0℃/s以下の平均冷却速度にて、冷却を施す、鋼部品の製造方法。

【0025】

5. 前記800℃から550℃までの冷却は、前記熱間鍛造材における冷却速度分布の最高値 V_1 と最低値 V_2 との差の最大値 V_1 に対する比 $((V_1 - V_2) / V_1) \times 100$ が25%以下にて行う、前記4に記載の鋼部品の製造方法。

10

【発明の効果】

【0026】

本発明の鋼部品では、熱間鍛造後の冷却時に所望の条件を満足するベイナイト組織を85%以上得られることから、焼き戻しを施すことなく引張強さに対する降伏応力の比（降伏比）を0.60以上とすることができる。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本発明について具体的に説明する。まず、成分組成の各元素量の限定理由について説明する。なお、成分組成における「%」表示は、特に断りのない限り「質量%」を意味する。

20

【0028】

C：0.21～0.24%

C（炭素）は、鋼中に固溶または炭化物を形成し、鋼の強度を向上する有益な元素である。ベイナイト組織は微細なセメンタイトが析出した組織であるため、ある程度のCが鋼中に存在しないと、十分な析出強化を得られるだけのセメンタイトが得られず、降伏応力が低くなり降伏比を満足できなくなってしまう。そのため、Cは0.21%以上添加されている必要がある。一方で、過剰に添加すると、転位源であるセメンタイト量が多くなりすぎるため、これも降伏応力を維持できなくなる。このため添加量の上限は0.24%である。

30

【0029】

Si：0.11～0.25%

Si（珪素）は、鋼に固溶し、鋼の強度を高めると同時に焼き入れ性を向上し、ベイナイト面積率を上げるのに有益な元素である。これらの効果を得るためには、0.11%以上の添加が必要である。一方で、Siは熱間鍛造のための前加熱時に厚い被膜を形成し、熱間鍛造前のスケール剥離性を劣化させる、有害な効果も有する。これを避けるためには0.25%を超えた添加は避けなければならない。好ましくは、0.13～0.23%である。

【0030】

Mn：1.81～1.99%

40

Mn（マンガン）は、鋼中に固溶し鋼の強度を上げる、鋼の焼き入れ性を上げる、Sと結合して硫化物を形成し鋼の被削性を向上させる、などの多様な有益効果を有する重要な元素である。それらの効果を得るためには、1.81%以上の添加が必要である。一方で、Mnを過剰に添加すると、残留オーステナイト量が多くなりすぎ、降伏応力を維持できなくなる。このため添加量の上限は1.99%である。好ましくは、1.83～1.97%である。

【0031】

P：0.014～0.025%

P（リン）は、鋼中に固溶し鋼の降伏応力を上げる有益な元素である。その効果を得るためには0.014%以上の添加が必要である。一方で、Pは熱間鍛造後のオーステナイ

50

トの結晶粒界に偏析し、室温での靱性を悪化させる側面を持つ。これを避けるためPの含有量は0.025%以下とする。好ましくは、0.014~0.022%である。

【0032】

S：0.035~0.060%

S（硫黄）は、Mnと結合して鋼中に硫化物を形成し、鋼の被削性を上げる効果を有する有益な元素である。その効果を得るためには、0.035%以上の添加が必要である。一方で、Sを過剰に添加しすぎると、多量のMnSを形成してFe中に固溶するMnの量を低下させMnの有益な効果である強度向上や焼き入れ性向上の効果が削がれるだけでなく、MnSが転位源としても働き、鋼の降伏応力を下げる結果になってしまう。これを避けるために、Sの添加量は0.060%を上限とする。より好ましくは、0.050%未満である。

10

【0033】

Cr：0.55~0.65%

Cr（クロム）は、鋼中に固溶し鋼の強度を上げる、鋼の焼き入れ性を上げる、などの多様な有益効果を有する重要な元素である。それらの効果を得るためには、0.55%以上の添加が必要である。一方で、Crを過剰に添加すると、残留オーステナイト量が多くなりすぎ、高い降伏応力を維持できなくなる。このため、添加量の上限は0.65%である。

【0034】

Al：0.010~0.050%

Al（アルミニウム）は、鋼の精練や casting 時に空気から溶鋼中に不可避免的に侵入してくる酸素と結びつき無害化する有益な元素である。Alによる脱酸が十分でなければ鋼中で過剰となった酸素はTiと結びつき、後述のTiの効果が十分に得られなくなってしまう。酸素の無害化のためには、0.010%以上の添加が必要である。一方で、0.050%を超えて添加すると、逆にアルミニウム酸化物自体が鋼中に多量に含まれるようになり、鋼の靱性を悪化させるため、これを超えた添加は避けるべきである。好ましくは、0.020~0.045%である。

20

【0035】

Ti：0.005~0.020%

Ti（チタン）は、鋼中で極めて微細な析出物を形成し、熱間鍛造前後でのオーステナイト粒の粗大化を抑制することで靱性の悪化を防ぐ有益な元素である。その効果を得るためには0.005%以上の添加が必要である。一方で、0.020%を超えて添加すると、熱間鍛造前の加熱時に析出物が粗大化し有益な効果が得られなくなる。従って、0.020%を超えての添加は避ける必要がある。好ましくは、0.006~0.017%である。

30

【0036】

V：0.15~0.20%

V（バナジウム）は、鋼中に固溶し鋼を固溶強化するとともに、鋼の焼き入れ性を上げる有益な元素である。そのような効果を得るためには、0.15%以上の添加が必要である。一方で、VはCと結合し析出物を形成することで鋼の靱性を悪化させる作用も有する。これを避けるために、Vの添加量は0.20%以下とする。好ましくは、0.16~0.19%である。

40

【0037】

N：0.0090~0.0150%

N（窒素）は、主にTiやVと結合して熱間鍛造前後でのオーステナイト粒の粗大化を抑制することによって、靱性の悪化を防ぐ有益な元素である。その効果を得るためには、0.0090%以上の添加が必要である。一方で、0.0150%を超えて添加すると、常温でひずみ時効（転位のまわりにNが偏析しコ Cottrell 雰囲気形成して転位の易動度を著しく妨げる効果）を発現し、後述の-50℃での衝撃値が著しく低下する。これを避けるためには、Nの添加量の上限は0.0150%とする。好ましくは、0.0095~

50

0.0130%である。

【0038】

F1: 0.65%以上

$$F1 = C + Si / 24 + Mn / 6 + Ni / 40 + Cr / 5 + Mo / 4 + V / 14$$

ここで、(1) 式中の各元素記号は、当該元素の含有量（質量%）であり、含有されない元素については0としてF1を算出するものとする。

ベイナイト組織を得るための最低限の成分規制は、上記の通り、成分の種類と成分毎の添加範囲で行っている。さらに、実際の熱間鍛造後の冷却において冷却速度に幅があるときに得られる機械的特性のロバスト性を高めるために、F1として示す式(1)に従って、添加合金元素バランスも規定する必要がある。このバランスを定める式をF1としたときに、その値は0.65%以上である必要がある。すなわち、上記の値が0.65%未満であると、たとえばベイナイト主体の組織が得られたとしても、降伏比で0.60以上となる鋼を得ることが難しくなる。

【0039】

以上の元素を含み、残部はFeおよび不可避的不純物である。

ここで、不可避的不純物として考えられる元素として、O（酸素）、B（ホウ素）、Mg（マグネシウム）、Ca（カルシウム）、REM（レアアースメタル）などがある。これらいずれの元素にしても、含有量は0.0015%未満である。

【0040】

さらに、必要に応じて、上記の成分組成に加えて、Cu、Ni、MoおよびNbのいずれか1種以上を添加することができる。

【0041】

Cu: 0.25%以下

Cu（銅）は、鋼中に固溶し鋼を固溶強化する元素であり、強度確保のために添加することができる。Cuを添加する場合は、0.03%以上で添加することが好ましい。しかし、Cuを過度に添加すると、残留オーステナイトを増やし降伏応力が低下する結果、所定の降伏比が得られなくなる。これを避けるためには、その添加の上限を0.25%、より好ましくは0.20%とする。

【0042】

Ni: 0.25%以下

Ni（ニッケル）は、鋼中に固溶し鋼を固溶強化する元素であり、強度確保のために添加することができる。Niを添加する場合は、0.03%以上で添加することが好ましい。しかし、Niを過度に添加すると、残留オーステナイトを増やし降伏応力が低下する結果、所定の降伏比が得られなくなる。これを避けるためには、その添加の上限を0.25%、より好ましくは0.20%とする。

【0043】

Mo: 0.15%以下

Mo（モリブデン）は、鋼中に固溶し鋼の強度を上げる、鋼の焼き入れ性を上げる、などの多様な有益効果を有する元素であり、好ましくは0.10%以上で添加することができる。しかし、Moを過剰に添加すると、残留オーステナイト量が多くなりすぎ、降伏応力を維持できなくなる。このために、添加する場合の上限は0.15%である。

【0044】

Nb: 0.030%以下

Nb（ニオブ）は、鋼中で極めて微細な析出物を形成し、熱間鍛造前後でのオーステナイト粒の粗大化を抑制することで靱性の悪化を防ぐ有益な元素であり、好ましくは0.013%以上で添加することができる。しかし、Nbを過剰に添加すると、熱間圧延において表面疵が多発するようになる。このために、添加する場合の上限は0.030%である。

【0045】

次に、組織の要件について具体的に説明する。

【ベイナイト組織の面積率：85%以上】

10

20

30

40

50

ベイナイト組織は、強度と靱性のバランスが良いため、非調質鋼の組織として適切である。具体的には、ベイナイト組織の鋼であれば、JIS Z 2242に定めるシャルピー衝撃試験によって求まる、 -50°C での衝撃値が 35 J/cm^2 以上となる。すなわち、 -50°C での衝撃値が 35 J/cm^2 以上であれば、人間が自動車またはトラックやトレーラーなどのヘビーデューティービークルを使用する地球上の環境で想定される使用温度において、十分な靱性を確保することができる。このような特性を得るためには、面積率が85%以上のベイナイト組織が必要である。より好ましくは90%以上である。

【0046】

なお、ベイナイト組織以外の組織は特に限定されず、パーライトやフェライトなどのいずれであってもよいが、残留オーステナイトは面積率が5%以下である必要がある。

〔残留オーステナイトの面積率：5%以下〕

残留オーステナイトは転位源となり降伏応力を下げる働きをするため、その面積率は低ければ低いほど良く、その上限は5%である。0%であってもよいのは勿論である。

【0047】

〔ベイナイト組織の結晶粒の平均径： $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $25\text{ }\mu\text{m}$ 以下〕

ベイナイト組織の結晶粒径は、変形しづらい結晶粒とするために非常に重要な因子である。ここでいう結晶粒とは、結晶粒界に隣接する結晶粒の結晶方位の角度差が 15° 以上の傾きを有する結晶粒界に囲まれる結晶粒のことである。また、平均径とは、試験片の任意の観察平面において上記のような結晶粒が20個以上含まれる範囲の視野における、その視野内のすべての結晶粒の径の加重平均値のことである。また、結晶粒の径とは、組織観察断面において観察される結晶粒の形状を真円と仮定したときの、その結晶粒の面積から求まる直径のことである。

【0048】

すなわち、変形しづらい結晶粒であるためには、上記の結晶粒の平均径が $25\text{ }\mu\text{m}$ 以下である必要がある。なぜなら、転位源から結晶粒界までの距離が短いため、堆積できる転位の量も限られ、転位堆積による応力もその分低く抑えられる結果、結晶粒の変形が抑制される。より好ましくは $23\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。一方で、微細になりすぎると結晶粒界そのものが転位源として働くようになるため、下限を $10\text{ }\mu\text{m}$ とする。好ましくは、 $12\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。

【0049】

〔結晶粒の平均アスペクト比：0.5以上〕

変形しづらい結晶粒であるためには結晶粒の形状が真球に近い方がよい。従って、結晶粒のアスペクト比は0.5以上である必要がある。好ましくは、0.55以上である。

ここで、結晶粒のアスペクト比とは、以下のように求める。まず、観察によって得られた結晶粒の重心位置を求める。この重心位置で直交する任意の2本の直線を結晶粒上に引く。なお、Cの字形状のように重心位置が結晶粒面内に無い場合は、求めた重心位置に最も近い結晶粒界上の点を重心位置とする。このようにして引いた任意の2直線の各直線において、結晶粒の周縁と交わる2つの交点の同直線上の離間距離を交点間距離とする。上記の任意の2直線の一方の直線における交点間距離と他方の直線における交点間距離との差が最大となるときの、長い方の交点間距離を最長辺および短い方の交点間距離を最短辺とする。かように特定した、最短辺を最長辺で割った値が、結晶粒のアスペクト比である。また、アスペクト比の平均とは、試験片の任意の観察平面において、結晶粒が20個以上含まれる範囲の視野における、同視野内のすべての結晶粒のアスペクト比の算出平均である。

【0050】

〔結晶粒の円周に対する結晶粒界の長さの平均比：60以下〕

上記の結晶粒の径、から求まる結晶粒の円周と結晶粒界の長さの比が平均で60以下である必要がある。ここで、結晶粒界の長さとは、後述するEBSDによって測定された結晶粒において、結晶粒界と判定されたピクセル数の合計数を、観察倍率によって長さに換算して求まる結晶粒界の長さのことである。以下、結晶粒の円周に対する結晶粒界の長さ

10

20

30

40

50

の比を、結晶粒界長さの比という。この結晶粒界長さの比の平均化も、試験片の任意の観察平面において結晶粒が20個以上含まれる範囲の視野における、その視野内のすべての結晶粒の結晶粒界長さの比の加重平均である。上述の結晶粒の円周に対する結晶粒界の長さの平均比（以下、結晶粒界長さの平均比ともいう）も、上述の通りEBSDにて求めることができる。そして、この結晶粒界長さの平均比が60を超えると、転位の放出減となる結晶粒界の面積が大きくなりすぎるため、十分な降伏比を得ることが難しくなる。より好ましい結晶粒界長さの平均比は、55以下である。

【0051】

さらに、鋼部品の表面下1mmにおけるビッカース硬さの最大値 Hv_1 と最小値 Hv_2 との差の最大値 Hv_1 に対する比 $((Hv_1 - Hv_2) / Hv_1) \times 100$ が10%以下であることが好ましい。

10

[($Hv_1 - Hv_2$) / Hv_1] × 100 : 10%以下]

以上の条件を満足する鋼部品は所望の機械的特性を有するものになる。かくして得られる機械的特性は、各鋼部品において均一であることが好ましい。そのためには、部品表面下の硬さの差 $((Hv_1 - Hv_2) / Hv_1) \times 100$ （以下、表面下硬度差ともいう）を10%以下ですることが好ましい。すなわち、部品の変形は表面硬度に律速されるため、表面下硬度差が10%以下であれば、部品としての性能がより均一となる。

なお、表面下硬度差は、後述の実施例における測定手法に従って求めることができる。

【0052】

次に、上記した鋼部品を製造する際の条件について説明する。

20

すなわち、上記した成分組成に従う鋼を溶製して鋼素材、例えば鋼塊に鑄造したのち、この鋼塊を1150℃以上の温度に加熱、保持してから、所望の部品形状に熱間鍛造する。さらに、この熱間鍛造後の熱間鍛造材に、1000℃から800℃までを0.7℃/s以上3.5℃/s以下、かつ800℃から550℃までを0.5℃/s以上2.0℃/s以下の平均冷却速度にて、冷却を施すことが肝要である。

【0053】

[鋼素材加熱温度：1150℃以上]

まず、鋼素材を1150℃以上に加熱する。なぜなら、熱間鍛造時の鍛造性を確保するために、鍛造性を悪化させる析出物である炭化物と窒化物を溶解させるには、1150℃以上に加熱する必要があるからである。上限は特に限定する必要はないが、表面酸化被膜による歩留まり悪化の観点からは、1300℃以下とすることが好ましい。

30

【0054】

鋼素材を1150℃以上の温度に加熱、保持してから、所望の部品形状に熱間鍛造するが、熱間鍛造の条件は特に限定されず、各部品に成形加工する熱間鍛造の一般に従えばよい。この熱間鍛造後に、次の2段階の冷却を行う必要がある。ちなみに、2段階の冷却は、上述した諸外国の工場において実施されている、熱間鍛造後の箱積みにとりわけ有利に適合する。すなわち、1段目の冷却である、熱間鍛造終了から800℃までの冷却速度は、鍛造品が箱に入れられるまでの段階での規定に合致する。そして、2段目の冷却である、800℃以下での冷却速度は、鍛造品が箱に入れられた後から変態開始までの段階での規定に合致する。なお、冷却方法は空冷でもよいが、部品全体が規定した冷却速度に入るよう冷却方法を設計する必要がある。

40

【0055】

[1000℃から800℃までの平均冷却速度：0.7℃/s以上3.5℃/s以下]

非調質鋼の部品に所望の強度を与える工程は、熱間鍛造後の部品の冷却過程における、冷却速度が非常に重要である。ここで、熱間鍛造部品の形状は一樣ではなく様々であることから、冷却中の部品には冷却速度が遅い部分もあれば逆に早い部分もある。このように一つの部品の中で冷却速度にばらつきが生じるときに、部品全体にわたってある程度一樣な特性を冷却過程で得るためには、素材となる非調質用鋼に冷却速度に対するロバスト性がなければならない。そのような観点から、本発明で規定した成分範囲の鋼は1000℃から800℃までの平均冷却速度が0.7℃/s未満になると、ベイナイト変態前の旧オ

50

ーステナイト粒が粗大となり、結果としてベイナイトの平均結晶粒径が $25\text{ }\mu\text{m}$ を超えてしまう。従って、 1000°C から 800°C までの平均冷却速度を $0.7^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上とする。好ましくは、 $0.9^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上、より好ましくは $1.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。

【0056】

一方、上記の温度区間の平均冷却速度が $3.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ を超えると、ベイナイト変態前の旧オーステナイト粒が微細になりすぎ、結果としてベイナイトの平均結晶粒径が $10\text{ }\mu\text{m}$ 未満になってしまう。従って、 1000°C から 800°C までの冷却速度を $3.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下とする。好ましくは $3.2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下、より好ましくは $3.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。

【0057】

【 800°C から 550°C までの平均冷却速度： $0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上 $2.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下】

10

上記の通り、非調質用鋼に冷却速度に対するロバスト性を付与する観点から、 1000°C から 800°C までの平均冷却速度を $0.7^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上 $3.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下の範囲に制御するが、この条件を満足した場合であっても、その後の 800°C から 550°C までの温度域における平均冷却速度も規定する必要がある。すなわち、 800°C から 550°C までの平均冷却速度が $0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 未満の場合、上記した結晶粒界長さの平均比が60を超えてしまうことになる。そこで、 800°C から 550°C までの平均冷却速度を $0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上とする。好ましくは 0.7°C 以上、より好ましくは $0.8^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。

【0058】

一方、 1000°C から 800°C までの平均冷却速度が上記の規定範囲であっても、 800°C から 550°C までの平均冷却速度が $2.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ を超えると、上記した結晶粒の平均アスペクト比が0.5未満となってしまう。そこで、 800°C から 550°C までの平均冷却速度を $2.0^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下とする。好ましくは $1.7^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下、より好ましくは $1.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下である。

20

【0059】

さらに、前記 800°C から 550°C までの冷却は、熱間鍛造で部品形状を与えられた熱間鍛造材における冷却速度分布の最高値 V_1 と最低値 V_2 との差の最大値 V_1 に対する比 $((V_1 - V_2) / V_1) \times 100$ が25%以下に行うことが好ましい。

【 $((V_1 - V_2) / V_1) \times 100$ が25%以下】

上述したように、機械的特性は、各鋼部品において均一であること、特に部品の性能としては、組織および硬さが均一であることが好ましい。従って、部品形状が複雑であっても冷却速度をある一定の範囲に収めることが有利である。そのためには、熱間鍛造材における冷却速度差 $(V_1 - V_2) / V_1$ （以下、冷却速度差ともいう）が25%以下であることが好ましい。冷却速度差が25%以下であれば、組織および硬さの差が小さく、部品の機械的性能がより均一となる。

30

なお、冷却速度差は、後述の実施例における測定手法に従って求めることができる。

【実施例1】

【0060】

以下、実施例により本発明をさらに詳しく説明する。ただし、実施例における各発明例はあくまでも例であり、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【0061】

40

表1に示す成分の鋼を真空溶解炉で溶製し、 50 kg 鋼塊（鋼素材）を鑄造した。このようにして得られた鋼塊を、 1150°C 以上の温度で直径が 37 mm の円柱に熱間加工した。次に、このようにして得られた直径 37 mm の円柱を 1250°C に1時間保持した直後に、熱間でのスケーリング加工（熱間鍛造）を行って直径 25 mm の丸棒とした。丸棒は、同じ鋼種を同じ製造条件で製造した各3本を準備した。

【0062】

なお、熱間のスケーリング加工の開始温度は 1100°C 以上である。このように熱間スケーリング加工の開始温度を制御した場合、スケーリング加工の終了温度はおおよそ 1000°C 以上であった。スケーリング加工を終了した後の直径 25 mm の丸棒には、 1000°C から 800°C までの平均冷却速度が $0.7^{\circ}\text{C}/\text{s}$ から $3.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ の範囲内であり、

50

800℃から550℃までの平均冷却速度が0.5℃/sから2.0℃/sの範囲内での冷却を施して鋼部品とした。各製造条件について、表2に示す。

【0063】

上記スケーリング加工後の冷却処理において、サーモビューアーを用いて、丸棒の先端から軸方向へ50mmピッチで離れた5箇所の温度の時間変化を測定し、各測定場所における平均冷却速度を求めた。表2に示す1000℃から800℃までの冷却速度および800℃から550℃までの冷却速度は、5箇所の各箇所で算出した平均冷却速度の5箇所の平均値である。さらに、上記冷却処理における、800℃から550℃までの温度域での冷却速度差 $((V_1 - V_2) / V_1) \times 100$ は、上記した5箇所の800℃から550℃までの平均冷却速度のうち、最高値 V_1 と最低値 V_2 とから求めた。

10

【0064】

20

30

40

50

【表 1】

【表 1】

(質量%)														備考
鋼No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	V	N	Cu	Ni	Mo	
1	0.21	0.12	1.83	0.014	0.039	0.62	0.017	0.011	0.18	0.0096	0.06			F1
2	0.23	0.15	1.90	0.018	0.051	0.57	0.029	0.019	0.16	0.0104	0.05	0.05		Nb
3	0.24	0.24	1.95	0.020	0.044	0.64	0.024	0.012	0.15	0.0109				F1
4	0.21	0.11	1.85	0.024	0.056	0.57	0.018	0.008	0.20	0.0113		0.09		F1
5	0.21	0.17	1.84	0.022	0.038	0.59	0.033	0.005	0.16	0.0097	0.22	0.25		F1
6	0.22	0.25	1.91	0.014	0.055	0.58	0.034	0.013	0.16	0.0138				F1
7	0.21	0.18	1.82	0.017	0.052	0.60	0.028	0.015	0.20	0.0105	0.18	0.10		F1
8	0.23	0.13	1.98	0.015	0.040	0.63	0.046	0.020	0.19	0.0103			0.12	F1
9	0.21	0.16	1.92	0.020	0.057	0.61	0.010	0.016	0.17	0.0114	0.20			F1
10	0.22	0.17	1.89	0.024	0.053	0.65	0.045	0.013	0.20	0.0090				F1
11	0.24	0.23	1.94	0.016	0.037	0.55	0.023	0.005	0.16	0.0140	0.08	0.05		F1
12	0.24	0.21	1.83	0.025	0.055	0.62	0.016	0.018	0.18	0.0110				F1
13	0.23	0.25	1.93	0.023	0.059	0.61	0.044	0.017	0.15	0.0095		0.19		F1
14	0.23	0.13	1.84	0.021	0.043	0.59	0.043	0.018	0.19	0.0115	0.24	0.10		F1
15	0.21	0.16	1.94	0.017	0.045	0.65	0.019	0.008	0.17	0.0106	0.20	0.10		F1
16	0.22	0.22	1.87	0.016	0.041	0.63	0.047	0.005	0.15	0.0145	0.22	0.23		F1
17	0.21	0.18	1.95	0.018	0.058	0.60	0.031	0.014	0.19	0.0098	0.20	0.18		F1
18	0.24	0.13	1.92	0.019	0.045	0.56	0.011	0.007	0.18	0.0116				F1
19	0.22	0.24	1.96	0.019	0.046	0.64	0.042	0.011	0.16	0.0102	0.14			F1
20	0.21	0.11	1.81	0.021	0.035	0.55	0.049	0.019	0.20	0.0149	0.24	0.12	0.14	F1
21	0.24	0.14	1.97	0.015	0.048	0.60	0.025	0.010	0.18	0.0091			0.10	F1
22	0.22	0.15	1.81	0.020	0.042	0.64	0.012	0.006	0.17	0.0150		0.07		F1
23	0.24	0.20	1.89	0.018	0.042	0.61	0.021	0.015	0.19	0.0107				F1
24	0.22	0.19	1.99	0.023	0.047	0.56	0.048	0.020	0.20	0.0112	0.13	0.07		F1
25	0.23	0.14	1.85	0.021	0.054	0.56	0.027	0.006	0.15	0.0093	0.09		0.08	F1
26	0.22	0.22	1.88	0.024	0.046	0.58	0.014	0.017	0.18	0.0111	0.21			F1
27	0.23	0.14	1.86	0.022	0.059	0.57	0.032	0.009	0.15	0.0108		0.09		F1
28	0.23	0.11	1.96	0.016	0.049	0.62	0.020	0.007	0.19	0.0099				F1
29	0.22	0.22	1.91	0.015	0.049	0.61	0.033	0.012	0.17	0.0112	0.13	0.04		F1
30	0.24	0.12	1.87	0.023	0.041	0.65	0.050	0.010	0.17	0.0094				F1
31	0.24	0.12	1.93	0.019	0.043	0.58	0.026	0.016	0.19	0.0101	0.25	0.11		F1
32	0.22	0.21	1.82	0.020	0.060	0.63	0.015	0.006	0.16	0.0092		0.22		F1
33	0.21	0.23	1.91	0.025	0.047	0.55	0.022	0.009	0.18	0.0122	0.17		0.05	F1
34	0.21	0.19	1.97	0.014	0.055	0.59	0.013	0.014	0.20	0.0147	0.20	0.20		F1

適合例

10

20

30

40

50

[表 1 (続き)]

鋼No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	V	N	Cu	Ni	Mo	Nb	F1	備考
35	0.10	0.20	1.90	0.013	0.053	0.90	0.033	0.006	0.18	0.0101					0.62	比較例
36	0.10	0.20	2.10	0.012	0.055	1.00	0.024	0.009	0.10	0.0092			0.20		0.72	
37	0.23	0.22	1.85	0.013	0.055	0.60	0.023	0.008	0.17	0.0110	0.22	0.13			0.68	
38	0.38	0.75	2.09	0.013	0.011	0.28	0.029	0.010	0.01	0.0120			0.08	0.013	0.84	
39	0.22	0.14	1.88	0.013	0.054	0.64	0.033	0.012	0.18	0.0115	0.14	0.07			0.68	
40	0.25	0.07	2.00	0.015	0.038	0.50	0.029	0.014	0.30	0.0102			0.04		0.72	
41	0.21	0.24	2.00	0.016	0.040	0.55	0.032	0.011	0.19	0.0133	0.20	0.10			0.68	
42	0.14	0.20	1.55	0.011	0.060	0.06	0.025	0.025	0.30	0.0050					0.44	
43	0.24	0.15	1.80	0.022	0.051	0.59	0.029	0.010	0.16	0.0109	0.21	0.14			0.68	
44	0.34	0.10	1.81	0.022	0.045	0.41	0.029	0.009	0.20	0.0234		0.10	0.02		0.75	
45	0.31	0.10	1.81	0.020	0.039	0.42	0.025	0.008	0.20	0.0054		0.25	0.02		0.73	
46	0.24	0.10	1.96	0.015	0.052	0.60	0.032	0.011	0.15	0.0099	0.17	0.11			0.70	
47	0.27	1.02	1.52	0.045	0.021	0.11	0.027	0.010	0.15	0.0091					0.60	
48	0.25	0.19	1.82	0.026	0.042	0.56	0.030	0.011	0.19	0.0095	0.18	0.09			0.69	
49	0.15	0.10	2.50	0.010	0.009	0.20	0.035	0.070	0.05	0.0072			0.20		0.66	
50	0.20	0.14	1.91	0.018	0.039	0.56	0.025	0.011	0.17	0.0141	0.16	0.09			0.65	
51	0.25	0.21	1.90	0.022	0.005	0.60	0.034	0.009	0.09	0.0097			0.03		0.71	
52	0.25	0.22	1.93	0.022	0.050	0.61	0.029	0.009	0.16	0.0111	0.15	0.08			0.72	
53	0.21	0.10	1.89	0.024	0.100	0.82	0.017	0.012		0.0040					0.69	
54	0.21	0.12	1.81	0.020	0.044	0.51	0.022	0.014	0.15	0.0141	0.12	0.05			0.63	
55	0.23	0.14	1.82	0.016	0.039	0.56	0.019	0.019	0.16	0.0099	0.29	0.15			0.67	
56	0.24	0.13	1.98	0.021	0.043	0.60	0.018	0.009	0.15	0.0102	0.19	0.28			0.71	
57	0.21	0.22	1.89	0.020	0.049	0.59	0.008	0.014	0.16	0.0103	0.18	0.06			0.67	
58	0.23	0.19	1.85	0.018	0.053	0.62	0.053	0.018	0.16	0.0091	0.18	0.09			0.68	
59	0.23	0.23	1.99	0.025	0.057	0.61	0.029	0.011	0.19	0.0192	0.18	0.10			0.71	

【 0 0 6 5 】

さらに、冷却速度の測定を経た丸棒（鋼部品）について、その表面下硬度およびミクロ組織を調査した。

表面下硬度は上記 5 つの冷却速度測定位置の半径方向断面（いわゆる C 断面）のそれぞれにおいて、表面から半径方向へ 1 mm の位置の周方向任意 2 箇所、丸棒全体で 10 箇所を対象に、ピッカース硬度計で硬さを測定した。この測定結果の最大値 Hv_1 と最小値 Hv_2 を用いて、 $(Hv_1 - Hv_2) / Hv_1 \times 100$ を算出し、表面下硬度差とした。得られた表面下硬度差は、5 つの冷却速度測定位置における最大値として、表 2 に示す。

【 0 0 6 6 】

さらに、上記した5つの冷却速度測定位置の半径方向断面を観察面として、ミクロ組織について調査した。

すなわち、ベイナイト面積率は、ナイトール溶液により適度にエッチングした観察面の光学顕微鏡写真から点算法により求めた。点算法とは、光学顕微鏡写真上に適度に配置した点の総数のうち、面積率を求めたい組織の上にある点の割合を求める面積率測定方法である。点の大きさや配置方法に特に好ましい条件は無いが、一般的には、組織写真上に等間隔且つ直交するように複数配置した線が交わる点、いわゆる格子点とするのが一般的である。線の太さに規定は無いが、例えばマイクロソフト社のパワーポイント アプリケーションのスライド上で太さが0.5～0.75 ptとした線で格子点を構成するのが一般的である。このようにして構成した格子点群を、組織写真上に重ね、上記のようにして求めた面積率を測定したい組織上にあった格子点の数の合計が格子点総数に占める割合を、面積率または体積率と見做すことができる。格子点が組織の境目上に重なっている場合は、0.5個の格子点として数えればよい。そして、このようにして求めたベイナイトの面積率から、後述するEBSDで求めた残留オーステナイト面積率を引いた値を、その鋼部品のベイナイト面積率とした。得られたベイナイト面積率は、5つの冷却速度測定位置における平均値として、表2に示す。

【0067】

また、残留オーステナイト面積率、ベイナイト組織の平均結晶粒径、結晶粒の平均アスペクト比および結晶粒界長さの平均比は、EBSD (Electron Backscatter Diffraction) を用いて測定した。EBSDによる、これらの測定についても、ランダムに抽出した5視野において上記項目の各々を測定し、それぞれの平均を5つの冷却速度測定位置において求めて、さらに5つの冷却速度測定位置における平均値を鋼部品での値とした。なお、このEBSDによる組織調査のときの結晶粒の定義であるが、上述したように、隣接する結晶粒の結晶方位の角度差が15°以上の結晶粒界に囲まれる結晶粒とした。

【0068】

また、表面下硬度を測定した丸棒（鋼部品）とは別の、上記丸棒（鋼部品）において、上記した5つの冷却速度測定位置に対応する5つの位置（以下、測定対応位置という）のうち、3番目の測定対応位置を境として丸棒の一端側および他端側のD/2位置（D:丸棒径）から、JIS Z2241に規定の4号引張試験片を、それぞれ1本計2本採取した。従って、一方の試験片には、上記の1および2番目の測定対応位置が含まれ、同他方の試験片には、上記の4および5番目の測定対応位置が含まれている。

【0069】

さらに、表面下硬度を測定した丸棒および引張試験片を採取した丸棒とは別の、上記丸棒（鋼部品）のD/4位置から、JIS Z2242に規定のシャルピー衝撃試験用のUノッチ試験片を、上記した5つの測定対応位置宛1本計5本採取した。このシャルピー衝撃試験片のノッチ深さは5mmである。

このようにして得られた試験片から、以下の通りに機械的特性を調査した。

【0070】

まず、引張試験は、JIS Z2241に準拠して、引張速度0.167 mm/sで行った。この引張試験によって、降伏応力（弾性変形時の傾きから得られる直線を弾性限から0.2%オフセットして得られる強度、いわゆる0.2%耐力）と到達最高強度（引張試験により得られる公称応力—公称ひずみ曲線における到達最高強度、いわゆる引張強さ）を求めた。得られた降伏応力および引張強さは、2つの試験片における平均値とした。この引張強さに対する降伏応力の比である降伏比が0.60以上であれば、機械的特性のばらつきが抑制された鋼部品である、ということができる。

【0071】

シャルピー衝撃試験では、JIS Z2242に準拠して、-50℃での衝撃値を求めた。得られた衝撃値は、5つの試験片における最小値とした。この衝撃値が35 J/cm²以上であれば、靱性に優れる鋼部品である、ということができる。

以上の測定結果を表 2 に併記する。

【 0 0 7 2 】

【表 2】

【表 2】

練結品No.	鋼No.	冷却速度 1000℃～800℃ (℃/s)	冷却速度 800℃～550℃ (℃/s)	800～550℃での 冷却速度差 (%)	ベイナイト 面積率 (%)	残留オーステナイト 面積率 (%)	平均結晶 粒径 (μm)	結晶粒の 平均アス ペクト比	結晶粒の円周に対する 実際の結晶粒界 の長さの平均比	表面下 硬度差 (%)	降伏応力 (MPa)	引張強さ (MPa)	降伏比	衝撃値 -50℃ (J/cm ²)	備考
1	1	1.0	1.9	3	92	3	18	0.56	43	3	590	952	0.62	61	
2	2	2.2	1.5	10	91	2	13	0.59	41	5	577	982	0.60	45	
3	3	2.9	0.7	11	96	3	19	0.56	57	9	609	967	0.63	54	
4	4	0.7	0.8	12	90	4	14	0.60	41	9	824	945	0.86	59	
5	5	1.4	1.0	4	86	2	17	0.57	60	7	632	972	0.65	47	
6	6	0.9	1.4	7	86	5	20	0.55	46	9	636	963	0.66	46	
7	7	1.5	1.5	26	93	4	12	0.61	46	12	577	946	0.61	53	
8	8	1.7	0.8	4	87	2	15	0.55	27	12	619	953	0.65	51	
9	9	3.5	1.1	3	92	1	17	0.60	41	4	620	968	0.64	59	
10	10	0.8	1.3	10	85	1	16	0.55	38	5	652	973	0.67	52	
11	11	3.0	0.7	11	88	5	21	0.57	43	4	606	947	0.64	53	
12	12	1.3	1.4	8	89	1	17	0.59	43	6	596	964	0.62	62	
13	13	2.8	0.9	3	97	3	18	0.58	41	7	601	954	0.63	58	
14	14	0.7	1.2	6	89	2	23	0.58	38	6	623	974	0.64	54	
15	15	1.6	0.7	5	87	1	16	0.60	38	7	626	948	0.66	51	
16	16	2.1	0.8	3	88	2	22	0.56	54	9	586	960	0.61	48	
17	17	3.2	1.6	6	93	2	19	0.57	49	8	610	969	0.63	53	
18	18	2.6	0.6	4	90	5	18	0.58	43	8	663	975	0.68	56	
19	19	1.0	1.1	6	94	3	16	0.56	29	8	598	949	0.63	59	
20	20	1.8	2.0	8	90	4	15	0.59	36	9	641	966	0.67	50	
21	21	3.5	0.9	9	91	3	23	0.55	27	6	579	965	0.60	51	
22	22	1.9	1.5	27	87	4	19	0.57	36	13	601	970	0.62	54	
23	23	3.1	1.3	3	95	3	13	0.56	36	4	608	950	0.64	56	
24	24	0.9	1.8	9	92	4	14	0.58	34	6	595	976	0.61	65	
25	25	3.4	0.8	10	86	5	22	0.60	41	3	641	957	0.67	54	
26	26	1.2	1.0	9	93	2	20	0.57	32	7	589	966	0.61	50	
27	27	3.0	1.5	7	86	2	14	0.58	34	8	616	951	0.65	49	
28	28	2.5	0.7	7	95	5	12	0.60	46	5	652	959	0.68	46	
29	29	1.5	1.3	11	94	4	21	0.59	32	7	609	967	0.63	45	
30	30	2.7	0.8	10	91	2	21	0.57	36	8	583	971	0.60	43	
31	31	1.1	1.7	9	85	1	20	0.58	51	5	655	977	0.67	44	
32	32	3.2	1.1	10	94	1	22	0.55	29	6	596	961	0.62	61	
33	33	2.8	0.5	4	96	3	13	0.59	38	7	623	958	0.65	57	
34	34	3.3	1.2	7	89	2	15	0.61	43	5	626	952	0.66	59	説明例

10

20

30

40

50

[表2 (続き)]

鋼部品No.	鋼No.	冷却速度 1000℃~800℃ (℃/s)	冷却速度 800℃~550℃ (℃/s)	800~550℃での 冷却速度差(%)	ベイナイト 面積率 (%)	残留オーステナイト 面積率 (%)	平均結晶 粒径 (μm)	結晶粒の 平均アス ペクト比	結晶粒の円周に対する 実際の結晶粒界 の長さの平均比	表面下 硬度差 (%)	降伏応力 (MPa)	引張強さ (MPa)	降伏比	衝撃値 -50℃ (J/cm ²)	備考
35	35	2.2	1.0	9	92	3	13	0.50	43	6	497	887	0.56	51	比較例
36	36	1.4	0.7	5	86	1	14	0.60	41	7	489	901	0.52	55	
37	37	3.5	0.7	11	85	2	15	0.54	49	8	502	953	0.59	56	
38	38	1.6	1.5	6	89	3	21	0.35	41	9	573	974	0.59	48	
39	39	1.8	1.0	11	94	4	23	0.58	36	7	566	975	0.58	51	
40	40	3.0	1.7	8	92	7	10	0.56	36	6	523	950	0.55	55	
41	41	2.7	1.9	5	86	6	18	0.55	32	5	551	986	0.57	61	
42	42	0.7	1.5	7	91	3	11	0.60	36	5	427	890	0.48	59	
43	43	1.7	0.8	7	82	4	20	0.53	51	7	655	961	0.68	29	
44	44	2.8	1.4	6	82	2	21	0.57	41	9	486	972	0.50	19	
45	45	3.2	1.6	10	81	1	11	0.61	25	6	520	946	0.55	21	
46	46	1.9	2.0	3	83	2	15	0.57	46	5	632	964	0.66	23	
47	47	3.4	0.7	6	93	4	18	0.59	43	4	543	989	0.56	43	
48	48	3.0	0.5	4	88	1	24	0.52	29	7	488	976	0.50	39	
49	49	1.1	0.8	10	94	2	18	0.58	54	5	495	951	0.52	46	
50	50	3.3	1.3	7	94	2	10	0.61	46	6	567	977	0.58	47	
51	51	1.0	0.8	6	88	5	19	0.57	43	4	533	952	0.56	51	
52	52	0.9	1.5	10	90	4	24	0.56	27	2	575	974	0.59	50	
53	53	0.8	1.1	8	90	8	21	0.55	34	6	532	967	0.55	46	
54	54	1.6	0.7	12	90	4	13	0.51	38	7	655	962	0.68	30	
55	55	1.0	1.4	8	88	10	21	0.56	57	5	508	973	0.52	59	
56	56	3.1	1.4	9	86	9	18	0.55	25	6	541	949	0.57	57	
57	57	1.5	2.0	3	92	2	22	0.59	29	5	598	986	0.62	23	
58	58	2.3	0.7	6	89	2	15	0.59	36	6	623	986	0.65	22	
59	59	1.4	1.9	7	91	1	23	0.50	60	4	596	952	0.63	14	

【0073】

表1及び表2において、鋼No. 1から34の鋼は本発明の成分組成を満たす例である。これら鋼No. 1から34の鋼を素材とし、熱間鍛造後の冷却を本発明に従う冷却速度範囲内で施した鋼部品No. 1から34は、本発明で規定した組織および優れた機械的特性を備えている。

【0074】

鋼部品No. 35の比較例は、Crが十分に高いがCやPが本発明の規定を逸脱しているため十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0075】

10

20

30

40

50

鋼部品 No. 36 の比較例は、C や P、さらに Mn、Cr が本発明の規定を逸脱しているため、十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0076】

鋼部品 No. 37 の比較例は、P が本発明の規定を逸脱しているため十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となる。

【0077】

鋼部品 No. 38 の比較例は、C、Si、Mn および P が低く本発明の規定を逸脱しているため十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0078】

鋼部品 No. 39 の比較例は、P 以外は本発明の規定を満足しているが、P の添加量が本特許規定以下であるため降伏比が低い鋼部品となっている。

10

【0079】

鋼部品 No. 40 の比較例は、C、Mn および V が本特許規定を超えて添加されているため残留オーステナイトの面積率が本発明規定を超過した結果、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0080】

鋼部品 No. 41 の比較例は、Mn が本発明規定を超えて添加されているため残留オーステナイトの面積率が本特許規定を超過した結果、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0081】

鋼部品 No. 42 の比較例は、C、Mn、P、Cr が本発明規定を下回っているため、十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となっている。

20

【0082】

鋼部品 No. 43 の比較例は、Mn が本発明規定を下回っているため、F1 の値自体は他の元素の添加により規定を満足しているが十分なベイナイト面積率が得られなかった結果、 -50°C での衝撃値が 35 J/cm^2 を下回っている。

【0083】

鋼部品 No. 44 および 45 の比較例は、C が規定より高く、かつ Si が規定より低いため、十分な降伏応力が得られず、なおかつ十分なベイナイト面積率も得られなかったため、 -50°C での衝撃値が 35 J/cm^2 を下回っている。

【0084】

30

鋼部品 No. 46 の比較例は、Si が本発明規定を下回っているため、F1 の値自体は他の合金元素の添加により規定を満足しているが十分なベイナイト面積率が得られなかった結果、 -50°C での衝撃値が 35 J/cm^2 を下回っている。

【0085】

鋼部品 No. 47 の比較例は、C と Si が本発明規定を超えているため、セメンタイト量が多くなりすぎ十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0086】

鋼部品 No. 48 の比較例は、C が本発明規定を超えているため、セメンタイト量が多くなりすぎ十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0087】

40

鋼部品 No. 49 および 50 の比較例は、C が本発明規定を下回っているため、十分な析出強化が得られず降伏応力が高まらなかったため、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0088】

鋼部品 No. 51 および 52 の比較例は、C が本発明規定を超えているため、セメンタイト量が多くなりすぎ十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0089】

鋼部品 No. 53 の比較例は、S と Cr が本発明規定を超えているため、S の超過により転位源となる MnS の量が過多となり、なおかつ Cr の超過により残留オーステナイト量が本発明規定を超えたため、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0090】

50

鋼部品 No. 54 の比較例は、F 1 式の値が 0.65 を下回ったため、十分な量のベイナイト量が得られず、 -50°C での衝撃値が 35 J/cm^2 を下回る結果となる。

【0091】

鋼部品 No. 55 の比較例は、Cu が本発明で規定の添加量を超えて含有されているため、残留オーステナイトの量が本発明の規定を上回ってしまった結果、十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となっている。

【0092】

鋼部品 No. 56 の比較例は、Ni が本発明で規定の添加量を超えて含有されているため、残留オーステナイトの量が本発明の規定を上回ってしまった結果、十分な降伏応力が得られず、降伏比が低い鋼部品となっている。

10

【0093】

鋼部品 No. 57 の比較例は、Al の添加量が本発明で規定の添加量の下限を下回ってしまった結果、Ti による組織微細化の効果が十分に得られず、 -50°C での衝撃値が 35 J/cm^2 を下回っている。

【0094】

鋼部品 No. 58 の比較例は、Al の添加量が本発明で規定の添加量の上限を上回ってしまった結果、アルミニウムの酸化物が過剰に鋼中に含まれ、これが過度に鋼中に分散してしまったため、 -50°C での衝撃値が 35 J/cm^2 を下回っている。

【0095】

鋼部品 No. 59 の比較例は、N の添加量が本発明で規定の添加量の上限を上回ってしまった結果、 -50°C での衝撃値が 35 J/cm^2 を下回っている。

20

【実施例 2】

【0096】

次に、表 1 に示した鋼 No. 11 の成分組成を有する鋼を真空溶解炉で溶製し、50 kg 鋼塊（鋼素材）を鑄造し、実施例 1 と同様の条件にてスケーリング加工をして得た、直径 25 mm の丸棒について、熱間スケーリング加工後に、表 3 に示す種々の冷却速度条件で冷却して鋼部品を得た。

【0097】

かくして得られた鋼部品について、鋼の組織、表面下硬度および機械的特性を実施例 1 と同様に調査した結果を、表 3 に併記する。ここで、冷却速度差は、実施例 1 と同様にし

30

【0098】

40

50

【表 3】

鋼部品No.	鋼No.	冷却速度 1000℃~800℃ (℃/s)	冷却速度 800℃~550℃ (℃/s)	800~550℃での 冷却速度差(%)	ベイナイト 面積率 (%)	残留オーステナイト 面積率 (%)	平均結晶 粒径 (μm)	結晶粒の 平均アス ペクト比	結晶粒の口周に対する 実際の結晶粒系 の長さの平均比	硬度差 (%)	降伏応力 (MPa)	引張強さ (MPa)	降伏比	衝撃値 -50℃ (J/cm ²)	備考
A1	11	0.6	1.2	9	92	4	28	0.57	41	3	555	962	0.58	51	比較例
A2	11	0.9	1.4	8	96	4	24	0.60	27	5	636	946	0.67	48	発明例
A3	11	1.0	1.4	12	86	1	21	0.55	34	4	601	954	0.63	59	発明例
A4	11	3.6	0.9	10	88	2	7	0.60	29	5	565	975	0.58	51	比較例
A5	11	3.2	1.0	13	87	4	11	0.58	55	6	608	950	0.64	47	発明例
A6	11	3.0	0.8	7	88	5	13	0.56	41	7	599	959	0.61	46	発明例
A7	11	1.1	0.4	5	91	2	23	0.55	77	8	577	977	0.59	53	比較例
A8	11	1.7	0.7	9	92	3	19	0.60	43	6	628	901	0.70	51	発明例
A9	11	2.2	0.8	12	86	2	13	0.55	36	5	575	890	0.65	59	発明例
A10	11	2.7	2.1	16	96	3	12	0.41	34	6	544	946	0.58	46	比較例
A11	11	1.3	1.7	14	85	2	22	0.55	49	4	620	976	0.64	53	発明例
A12	11	2.4	1.5	12	92	4	13	0.60	57	5	623	949	0.66	51	発明例

【0099】

表3に示した鋼部品No. A2、A3、A5、A6、A8、A9、A11、A12は、本発明の成分組成を満たし、かつ熱間鍛造後の冷却速度条件を満足する発明例である。

【0100】

一方、鋼部品No. A1は、1000℃から800℃までの冷却速度が本発明の規定を下回る例であり、ベイナイトの結晶粒径の平均が本発明に規定の範囲の上限25μmを超えてしまい、0.60以上の降伏比が得られなかった比較例である。

【0101】

また、鋼部品No. A4は、1000℃から800℃までの冷却速度が本発明の規定を

10

20

30

40

50

上回ってしまった結果、ベイナイトの結晶粒径の平均が本発明に規定の範囲の下限 $10\ \mu\text{m}$ 未満となる例であり、 0.60 以上の降伏比が得られなかった比較例である。

【0102】

鋼部品 No. A7 は、 800°C から 550°C までの冷却速度が本発明に規定を下回る結果、結晶粒を真円とした時の円周長さに対する結晶粒長さの比の平均が本発明に規定の範囲の上限 60 を超える例であり、 0.60 以上の降伏比が得られなかった比較例である。

【0103】

鋼部品 No. A10 は、 800°C から 550°C までの冷却速度が本特許規定を下回る結果、結晶粒のアスペクト比の平均が本発明に規定の範囲の下限 0.5 より小さくなる例であり、 0.60 以上の降伏比が得られなかった比較例である。

10

20

30

40

50

【要約】

熱間鍛造後に調質処理を施さない、いわゆる非調質鋼、中でもベイナイト組織を有する非調質鋼の部品において、高い降伏比、具体的には0.60以上の降伏比を実現する方法について提供する。鋼部品は、所定の成分組成と、ベイナイト組織の面積率が85%以上かつ残留オーステナイトの面積率が5%以下である組織とを有し、前記ベイナイト組織の結晶粒は、平均径が10 μm以上25 μm以下、平均アスペクト比が0.5以上、および、結晶粒の円周に対する結晶粒界の長さの平均比が60以下である。

10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 相澤 啓祐

- (56)参考文献 特開平 09-111412 (JP, A)
特開平 05-279788 (JP, A)
国際公開第 2018/155610 (WO, A1)
韓国公開特許第 10-2014-0056767 (KR, A)
韓国公開特許第 10-2004-0037738 (KR, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C22C 38/00-38/60
C21D 8/00-8/10