

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-201983

(P2012-201983A)

(43) 公開日 平成24年10月22日(2012.10.22)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
<b>C 2 2 C</b>	<b>38/00</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	38/00	3 0 1 Y	4 K 0 3 2		
<b>C 2 1 D</b>	<b>8/06</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 1 D	8/06	A			
<b>C 2 2 C</b>	<b>38/60</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	38/60				
<b>C 2 1 D</b>	<b>1/10</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 1 D	1/10	A			

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2011-71070 (P2011-71070)  
 (22) 出願日 平成23年3月28日 (2011.3.28)

(71) 出願人 000001199  
 株式会社神戸製鋼所  
 兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番2  
 6号  
 (74) 代理人 100075409  
 弁理士 植木 久一  
 (74) 代理人 100129757  
 弁理士 植木 久彦  
 (74) 代理人 100115082  
 弁理士 菅河 忠志  
 (74) 代理人 100125243  
 弁理士 伊藤 浩彰  
 (74) 代理人 100125173  
 弁理士 竹岡 明美

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ねじり強度および靱性に優れた高周波焼入れ用鋼、およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】高周波焼入れ後の鋼部品に要求されるねじり強度を確保でき、しかも靱性（特に、シャルピー衝撃値）に優れた特性を有する高周波焼入れ用鋼、およびその製造方法を提供する。

【解決手段】C：0.4～0.65%（質量%の意味。化学成分について以下同じ）、Si：0.01～2%、Mn：0.2～2%、P：0.03%以下（0%を含まない）、S：0.002～0.1%、Cr：0.05～0.3%、Al：0.06～0.5%、B：0.0005～0.010%、N：0.004～0.03%を含有し、残部は鉄および不可避不純物からなる鋼であり、該鋼の金属組織はベイナイトおよびマルテンサイトを有し、全組織に対するベイナイトおよびマルテンサイトの合計面積率は70%以上であり、且つ全組織に対するベイナイトの面積率は50%超とする。

【選択図】なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

C : 0.4 ~ 0.65 % (質量%の意味。化学成分について以下同じ)、

Si : 0.01 ~ 2 %、

Mn : 0.2 ~ 2 %、

P : 0.03 % 以下 (0 % を含まない)、

S : 0.002 ~ 0.1 %、

Cr : 0.05 ~ 0.3 %、

Al : 0.06 ~ 0.5 %、

B : 0.0005 ~ 0.010 %、

N : 0.004 ~ 0.03 % を含有し、

残部は鉄および不可避不純物からなる鋼であり、

該鋼の金属組織はベイナイトおよびマルテンサイトを有し、

全組織に対するベイナイトおよびマルテンサイトの合計面積率は70%以上であり、且つ

全組織に対するベイナイトの面積率は50%超であることを特徴とするねじり強度および  
 韌性に優れた高周波焼入れ用鋼。

## 【請求項 2】

前記鋼の化学成分は、下記式(1)で表されるMs値が295以上、315未満を満足しているものである請求項1に記載の高周波焼入れ用鋼。

$$M_s \text{ 値} = 538 - 317 \times [C] - 11 \times [Si] - 33 \times [Mn] - 28 \times [Cr] - 11 \times [Mo] - 17 \times [Ni] - 11 \times [Cu] + 6 \times [V] + 10 \times [Al] \quad \cdot \cdot (1)$$

[上記式(1)中、[ ]は各元素の含有量(質量%)を示している。]

## 【請求項 3】

更に他の元素として、

Mo : 1 % 以下 (0 % を含まない) を含有するものである請求項1または2に記載の高周波焼入れ用鋼。

## 【請求項 4】

更に他の元素として、

Ti : 0.2 % 以下 (0 % を含まない)、

Nb : 0.2 % 以下 (0 % を含まない)、および

V : 0.2 % 以下 (0 % を含まない) よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含有するものである請求項1~3のいずれかに記載の高周波焼入れ用鋼。

## 【請求項 5】

更に他の元素として、

Cu : 3 % 以下 (0 % を含まない)、および/または

Ni : 3 % 以下 (0 % を含まない) を含有するものである請求項1~4のいずれかに記載の高周波焼入れ用鋼。

## 【請求項 6】

更に他の元素として、

Ca : 0.005 % 以下 (0 % を含まない)、

Mg : 0.005 % 以下 (0 % を含まない)、

Li : 0.001 % 以下 (0 % を含まない)、および

REM : 0.001 % 以下 (0 % を含まない) よりなる群から選択される少なくとも1種の元素を含有するものである請求項1~5のいずれかに記載の高周波焼入れ用鋼。

## 【請求項 7】

請求項1~6のいずれかに記載の成分組成を満足する鋼を、850~1250 の温度域で熱間加工した後、該熱間加工温度から500 までの温度範囲を5~10 /秒の平均冷却速度で冷却することを特徴とするねじり強度および韌性に優れた高周波焼入れ用鋼の製造方法。

10

20

30

40

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、高周波焼入れして鋼部品を製造するための鋼に関し、特に高周波焼入れした鋼部品のねじり強度と靱性を両方改善できる高周波焼入れ用鋼、およびその製造方法に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

自動車や各種機械類に用いられる鋼部品（具体的には、自動車用変速機や作動装置をはじめとする各種歯車伝達装置に利用される歯車、シャフト、プーリーや等速ジョイント等、更にはクランクシャフト等の機械構造部品）には、強度、特にねじり強度の向上が要望されている。ねじり強度とは、ねじり荷重に対する材料の耐性を表す指標であり、ねじり荷重を受ける材料の極限強度を意味している。

10

## 【0003】

上記鋼部品は、通常、熱間加工（例えば、熱間圧延や熱間鍛造など）した鋼に、切削加工等を施して最終形状（部品形状）に仕上げて製造される。その後、焼入れ焼戻し（調質）や浸炭焼入れ等の熱処理を行うことによって鋼部品の強度を高めることが行われている。近年では、地球環境への負荷を低減すると共に、作業環境を改善するために、焼入れ焼戻し（調質）や浸炭焼入れ等の熱処理に代えて高周波焼入れ処理が行われている。高周波焼入れ処理は、鋼の表層付近のみを急速加熱・冷却する方法であり、短時間で鋼部品の表層部の硬度や疲労特性を高めることができる。しかし、高周波焼入れ処理では、鋼部品の内部は焼入れないため、内部の強度は向上しない。そのため高周波焼入れ処理によって鋼部品の強度を、焼入れ焼戻し（調質）浸炭焼入れ等の熱処理を施したときと同程度の強度とするためには、表面硬度と内部硬度の双方を確保しておく必要がある。内部硬度を確保するためには、固溶強化や析出強化等をするためにC量等の合金元素量を高める必要があり、表面硬度を確保するためには、マルテンサイト変態によって強度が充分向上するように、鋼中のC量を高める必要があった。

20

## 【0004】

ところで一般に、鋼を高強度化すると靱性が劣化することが知られている。特に高周波焼入れ処理によって高強度化させるには、鋼中のC含有量を高める必要があるため、靱性の低下が著しく、強度と靱性の両立は困難である。

30

## 【0005】

高周波焼入れ焼戻し後のねじり強度を高めることのできる高周波焼入れ用機械構造用鋼が特許文献1に提案されている。この文献には、高周波焼入れ焼戻し後のねじり強度を向上させるには、Al含有量を増加させることが有効であること、O（酸素）を $Al_2O_3$ として固定し、粒界脆化を起こす酸素量を低下させることによってねじり強度を向上できることが記載されている。しかしこの文献では、高周波焼入れ焼戻し後の靱性については一切考慮されていない。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

40

## 【0006】

【特許文献1】特開平11-29836号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

本発明はこのような事情に着目してなされたものであって、その目的は、高周波焼入れ後の鋼部品に要求されるねじり強度を確保でき、しかも靱性（特に、シャルピー衝撃値）に優れた特性を有する高周波焼入れ用鋼、およびその製造方法を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

50

上記課題を解決することのできた本発明に係る高周波焼入れ用鋼とは、C：0.4～0.65%（質量%の意味。化学成分について以下同じ）、Si：0.01～2%、Mn：0.2～2%、P：0.03%以下（0%を含まない）、S：0.002～0.1%、Cr：0.05～0.3%、Al：0.06～0.5%、B：0.0005～0.010%、N：0.004～0.03%を含有し、残部は鉄および不可避不純物からなる鋼である。そして、上記鋼の金属組織はベイナイトおよびマルテンサイトを有し、全組織に対するベイナイトおよびマルテンサイトの合計面積率は70%以上であり、且つ全組織に対するベイナイトの面積率は50%超である点に要旨を有している。

#### 【0009】

前記鋼の化学成分は、下記式(1)で表されるMs値が295以上、315未満を満足していることが好ましい。下記式(1)中、[ ]は各元素の含有量（質量%）を示している。

$$Ms \text{ 値} = 538 - 317 \times [C] - 11 \times [Si] - 33 \times [Mn] - 28 \times [Cr] - 11 \times [Mo] - 17 \times [Ni] - 11 \times [Cu] + 6 \times [V] + 10 \times [Al] \quad \cdot \cdot (1)$$

#### 【0010】

前記鋼は、更に他の元素として、

- (a) Mo：1%以下（0%を含まない）、
  - (b) Ti：0.2%以下（0%を含まない）、Nb：0.2%以下（0%を含まない）、およびV：0.2%以下（0%を含まない）よりなる群から選択される少なくとも1種の元素、
  - (c) Cu：3%以下（0%を含まない）、および/またはNi：3%以下（0%を含まない）、
  - (d) Ca：0.005%以下（0%を含まない）、Mg：0.005%以下（0%を含まない）、Li：0.001%以下（0%を含まない）、およびREM：0.001%以下（0%を含まない）よりなる群から選択される少なくとも1種の元素、
- 等を含有してもよい。

#### 【0011】

本発明に係る高周波焼入れ用鋼は、上記成分組成を満足する鋼を、850～1250の温度域で熱間加工した後、該熱間加工温度から500までの温度範囲を5～10 / 秒の平均冷却速度で冷却することによって好適に製造できる。

#### 【発明の効果】

#### 【0012】

本発明によれば、鋼の成分組成と金属組織を適切に制御することによって、高周波焼入れ後においてもねじり強度が高く、しかも韌性に優れた鋼部品を製造するための高周波焼入れ用鋼を提供できる。即ち、本発明の高周波焼入れ用鋼に高周波焼入れして形成された鋼部品は、ねじり強度および韌性に優れたものとなる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0013】

【図1】図1は、ねじり試験に用いた試験片の形状を示す説明図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0014】

本発明者らは、高周波焼入れして得られる鋼部品のねじり強度と韌性を改善するために鋭意検討を重ねてきた。その結果、鋼の成分組成のうち、特に、Al、B、およびN量を適切な範囲に制御すると共に、鋼の金属組織をベイナイト主体としたうえでベイナイトとマルテンサイトの混合組織とすれば、高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度と韌性の両方を高めることのできる高周波焼入れ用鋼を提供できることを見出し、本発明を完成した。

#### 【0015】

即ち、高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度を高めるには、鋼の焼入れ性を高め、表面硬度を均一に高める必要がある。鋼の焼入れ性を高めるには、AlとBが鋼中に固溶する

10

20

30

40

50

ように、A1、B、およびNの添加量を適切な範囲に制御することが有効である。

【0016】

ところで、高周波焼入れでは、鋼部品の内部は焼入れされないため、鋼部品内部については、高周波焼入れ前の鋼の強度を予め高めておく必要がある。しかし鋼の強度を高めると、靱性が劣化する。そこで鋼の靱性を劣化させることなく、強度を高める必要がある。本発明者らが鋼部品内部の強度を高める方法について検討したところ、鋼の金属組織をベイナイト主体としたうえでマルテンサイトとの混合組織にすればよいことが明らかになった。ベイナイトは、フェライトやパーライトより硬質であるが、マルテンサイトより軟質であるため、ベイナイト主体とすることによって強度と靱性を両立できる。また、ベイナイト主体の金属組織の中にマルテンサイトを生成させることによって、強度を一層高めることができる。このように鋼の金属組織を、ベイナイトを主体とするマルテンサイトとの混合組織にすれば、高周波焼入れ後におけるねじり強度を高められる他、靱性も向上できる。ベイナイトを生成させるには、鋼中に固溶A1を含有させることが有効である。

10

【0017】

以下、本発明に係る高周波焼入れ用鋼について具体的に説明する。

【0018】

まず、高周波焼入れ用鋼の金属組織について説明する。

【0019】

〔(1) 金属組織：ベイナイトおよびマルテンサイトを有すること〕

本発明に係る高周波焼入れ用鋼の金属組織は、ベイナイトおよびマルテンサイトを有している。ベイナイトおよびマルテンサイトは、高周波焼入れして得られる鋼部品の内部を高硬度化し、ねじり強度を向上するのに寄与する金属組織である。そして本発明では、以下で詳述する様に、金属組織の面積率を適切に制御する必要がある。

20

【0020】

〔(2) ベイナイトおよびマルテンサイトの合計面積率：全組織に対して70%以上〕

本発明に係る高周波焼入れ用鋼の金属組織は、全組織に対するベイナイトおよびマルテンサイトの合計面積率を70%以上とする。ベイナイトとマルテンサイトの合計面積率が70%未満となり、フェライトやパーライトの生成量が増加すると、高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度または靱性の少なくとも一方が劣化する。従って本発明では、ベイナイトとマルテンサイトの合計面積率は70%以上、好ましくは75%以上、より好ましくは80%以上とする。ベイナイトとマルテンサイトの合計面積率の上限は特に限定されず、100%であってもよい。

30

【0021】

〔(3) ベイナイトの面積率：全組織に対して50%超〕

本発明に係る高周波焼入れ用鋼の金属組織は、全組織に対するベイナイトの面積率を50%超とする。ベイナイトの面積率を50%超とすることによって、鋼部品のねじり強度と靱性の両方を向上させることができる。即ち、ベイナイトは、フェライトやパーライトよりも硬質相であるため、高周波焼入れ後の鋼部品強度の向上に寄与する組織である。一方、マルテンサイトも同様に硬質相であるため、高周波焼入れ後の鋼部品強度の向上に寄与する。しかし、マルテンサイトは硬質過ぎるため靱性が劣化する。そこで、鋼部品の強度と靱性を同時に確保するには、ベイナイトの面積率を高めにする必要がある。従って本発明では、高周波焼入れ用鋼の金属組織をベイナイト主体とし、具体的には、全組織に対するベイナイトの面積率を50%超、好ましくは55%以上、より好ましくは60%以上とする。

40

【0022】

なお、全組織に対するベイナイトの面積率が100%となり、全組織に対するマルテンサイトの面積率が0%になると所望の強度が得られないため、全組織に対するベイナイトの面積率は100%未満であることが好ましく、より好ましくは90%以下、更に好ましくは85%以下である。

【0023】

50

本発明に係る高周波焼入れ用鋼の金属組織は、上述したように、ベイナイトとマルテンサイトを有するものであり、残部組織は特に限定されず、フェライトやパーライト等であればよい。残部組織の合計面積率は、例えば、5%以下であることが好ましい。

**【0024】**

本発明に係る高周波焼入れ用鋼は、上記金属組織を制御するだけでは所望の特性を有する鋼部品を得ることができず、鋼の成分組成も適切に制御する必要がある。以下、本発明の高周波焼入れ用鋼の成分組成について説明する。

**【0025】**

[C: 0.4 ~ 0.65%]

Cは、強度を確保するために必要な元素であり、0.4%以上含有させることによって、鋼部品として必要なねじり強度（即ち、高周波焼入れ後におけるねじり強度）を確保できる。C量は、好ましくは0.43%以上、より好ましくは0.45%以上である。しかしC量が過剰になると、鋼が硬くなり過ぎて靱性が劣化し、高周波焼入れ時に割れが発生する。また、切削加工時の被削性が劣化する。従ってC量は0.65%以下、好ましくは0.62%以下、より好ましくは0.60%以下とする。

10

**【0026】**

[Si: 0.01 ~ 2%]

Siは、固溶強化により高周波焼入れ後の鋼部品の強度を高める元素である。また、Siは、固溶Cがセメントイトとして析出するのを抑制し、加工性を改善するのに作用する元素である。また、Siは脱酸元素としても作用する。こうした作用を発揮させるには、Si量は0.01%以上、好ましくは0.03%以上、より好ましくは0.05%以上とする。しかしSi量が過剰になると、鋼が硬くなり過ぎて靱性が劣化する。従ってSi量は、2%以下、好ましくは1.7%以下、より好ましくは1.5%以下とする。

20

**【0027】**

[Mn: 0.2 ~ 2%]

Mnは、焼入れ性を向上させる元素であり、高周波焼入れ後の鋼部品の強度と靱性を向上させるのに必要な元素である。また、不完全焼入れによる靱性の著しい低下を防ぐためにも一定以上の添加が必要である。従ってMn量は0.2%以上、好ましくは0.5%以上、より好ましくは0.6%以上、特に好ましくは0.7%以上とする。しかしMnが過剰になると、焼入れ性が向上し過ぎてマルテンサイトが生成し易くなり、靱性が低下する。また、硬くなり過ぎて加工性が劣化する。従ってMn量は2%以下、好ましくは1.8%以下、より好ましくは1.6%以下とする。

30

**【0028】**

[P: 0.03%以下(0%を含まない)]

Pは、鋼に不可避免的に含まれる不純物元素であり、P量が過剰になると加工時に割れが発生するのを助長するので、できるだけ低減する必要がある。従ってP量は0.03%以下、好ましくは0.02%以下、より好ましくは0.015%以下とする。なお、P量を0%とすることは工業的に困難である。

**【0029】**

[S: 0.002 ~ 0.1%]

Sは、鋼に不可避免的に含まれる不純物元素であるが、鋼中のMnと結合してMnS系介在物を形成し、鋼の被削性を向上させるのに有効に作用する元素である。従ってS量は0.002%以上、好ましくは0.005%以上、より好ましくは0.008%以上とする。しかしS量が過剰になると、MnS系介在物量が増大し、この介在物が加工時（例えば、熱間圧延や熱間鍛造など）に加工方向に伸展するため、加工方向に直角な方向の靱性（横目靱性）が劣化する原因となる。従ってS量は0.1%以下、好ましくは0.08%以下、より好ましくは0.05%以下とする。

40

**【0030】**

[Cr: 0.05 ~ 0.3%]

Crは、Mnと同様に焼入れ性を向上させてベイナイトとマルテンサイトの生成を促進

50

し、高周波焼入れ後の鋼部品の強度と靱性を向上させるのに必要な元素である。こうした効果を発揮させるには、Cr量は0.05%以上、好ましくは0.10%以上、より好ましくは0.12%以上とする。しかしCr量が過剰になると粗大な炭化物が生成するか、或いはマルテンサイトが過剰に生成して靱性を却って劣化させるので、Cr量は0.3%以下、好ましくは0.27%以下、より好ましくは0.25%以下とする。

**【0031】**

[Al: 0.06 ~ 0.5%]

Alは、鋼中に固溶状態で存在させることによって焼入れ性を向上させる元素であり、ベイナイトの生成を促進して高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度と靱性を向上させるのに有効に作用する元素である。またAlは、Nと結合してAlNを析出し、このAlNは、加工時に結晶粒が異常成長するのを防止する作用を有しているため、鋼部品の靱性を向上させることができる。またAlは、脱酸剤としても作用する。こうした効果を発揮させるには、Al量は0.06%以上、好ましくは0.07%以上、より好ましくは0.08%以上とする。しかしAlが過剰になると、焼入れ性が良好になり過ぎてマルテンサイトが過剰に生成し、ベイナイトの生成量を確保できず、靱性を却って劣化させる。従ってAl量は0.5%以下、好ましくは0.4%以下、より好ましくは0.3%以下とする。

10

**【0032】**

[B: 0.0005 ~ 0.010%]

Bは、焼入れ性を向上させてベイナイトとマルテンサイトの生成を促進し、高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度と靱性を向上させるのに必要な元素である。またBは、鋼中のNと結合してBNとして析出するため、鋼中のN量が減少し、AlがNと結合してAlNとして析出するのを防止する元素である。AlNの析出が抑制されることによって鋼中の固溶Al量を確保できるため、ベイナイトの生成が促進され、高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度および靱性を改善できる。こうした効果を発揮させるには、Bは0.0005%以上、好ましくは0.0010%以上、より好ましくは0.0015%以上とする。しかしBが過剰になると、焼入れ性が向上し過ぎてベイナイトが生成せず、マルテンサイトが過剰に生成する。そのため鋼が硬くなり過ぎて靱性が却って劣化するため、高周波焼入れ時に割れが発生する。従ってB量は0.010%以下、好ましくは0.008%以下、より好ましくは0.006%以下とする。

20

**【0033】**

[N: 0.004 ~ 0.03%]

Nは、鋼中のAlと結合してAlNとして析出し、このAlNは、加工時に結晶粒が異常成長して強度を低下させるのを防止する作用を有している。また、AlNは、結晶粒度を適切に調整して靱性の向上にも寄与する。こうした作用を發揮させるには、N量は0.004%以上、好ましくは0.006%以上、より好ましくは0.008%以上とする。しかしNが過剰になると、AlNが多量に析出して加工性を低下させる。従ってN量は0.03%以下、好ましくは0.025%以下、より好ましくは0.020%以下とする。

30

**【0034】**

本発明に係る高周波焼入れ用鋼の成分組成は上記の通りであり、残部は、鉄およびP、S以外の不可避不純物である。P、S以外の不可避不純物としては、原料、資材、製造設備等の状況によって持ち込まれる微量元素（例えば、As、Sb、Snなど）の混入が許容される。

40

**【0035】**

本発明の高周波焼入れ用鋼は、本発明の効果を損なわない範囲で、更に他の元素として、Mo、Ti、Nb、V、Cu、Ni、Ca、Mg、Li、REMなどを積極的に含有させてもよい。

**【0036】**

[(a) Mo: 1%以下(0%を含まない)]

Moは、鋼の焼入れ性を高め、焼入れされていない組織が生成するのを抑制して高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度を高めるのに作用する元素である。こうした作用は、その

50

含有量が増加するにつれて増大するが、好ましくは0.05%以上、より好ましくは0.1%以上、更に好ましくは0.15%以上である。しかしMoを過剰に含有すると、焼きならし後でも過冷組織が生成して鋼の被削性が低下するため、1%以下とすることが好ましい。Mo量は、より好ましくは0.8%以下、更に好ましくは0.5%以下である。

【0037】

[(b) Ti: 0.2%以下(0%を含まない)、Nb: 0.2%以下(0%を含まない)、およびV: 0.2%以下(0%を含まない)よりなる群から選択される少なくとも1種の元素]

Ti、Nb、Vは、熱間加工時に結晶粒が異常成長するのを防止し、鋼の靱性や疲労特性が低下するのを防止する作用を有する元素であり、少なくとも任意の1種以上の元素を含有することによってこうした作用が発揮される。こうした作用は、その含有量が増加するにつれて増大するが、Ti、Nb、Vは夫々好ましくは0.005%以上、より好ましくは0.010%以上含有することが望ましい。しかしこれらの元素を過剰に含有すると、硬質の炭化物が多量に生成して鋼の被削性が低下するので、Ti、Nb、V量は夫々、0.2%以下、好ましくは0.15%以下、より好ましくは0.10%以下とする。なお、Ti、Nb、およびVは、単独で含有させてもよいし、任意に選ばれる2種以上を含有させてもよい。

【0038】

[(c) Cu: 3%以下(0%を含まない)、および/またはNi: 3%以下(0%を含まない)]

CuとNiは、焼入れ性を向上させて高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度を高めるのに有効に作用する元素である。こうした作用は、これらの元素の含有量が増加するにつれて増大するが、有効に発揮させるには、Cu、Ni量は夫々好ましくは0.05%以上、より好ましくは0.1%以上である。しかし過剰に含有させると過冷組織が生成し、靱性や延性が低下するので、Cu、Ni量は夫々3%以下とすることが好ましい。Cu、Niは、より好ましくは2%以下、更に好ましくは1%以下である。なお、CuおよびNiは、夫々、単独で含有させてもよいし、両方を含有させてもよい。また両方を含有させる場合の含有量は夫々上記範囲で任意の含有量でよい。

【0039】

[(d) Ca: 0.005%以下(0%を含まない)、Mg: 0.005%以下(0%を含まない)、Li: 0.001%以下(0%を含まない)、およびREM: 0.001%以下(0%を含まない)よりなる群から選択される少なくとも1種の元素]

Ca、Mg、Li、およびREMは、MnS等の硫化化合物系介在物を球状化させ、鋼の被削性を向上させるのに有効な元素である。こうした作用はその含有量が増加するにつれて増大するが、有効に発揮させるためには、CaとMg量は夫々好ましくは0.0005%以上、より好ましくは0.0010%以上、LiとREM量は夫々好ましくは0.0001%以上、より好ましくは0.0003%以上である。しかし過剰に含有させてもその効果は飽和し、含有量に見合う効果が期待できないので、CaとMg量は夫々好ましくは0.005%以下、より好ましくは0.0040%以下、更に好ましくは0.0030%以下、LiとREMは夫々好ましくは0.001%以下、より好ましくは0.0008%以下、更に好ましくは0.0005%以下である。なお、Ca、Mg、Li、およびREMは、単独で含有させてもよいし、任意に選ばれる2種以上を含有させてもよい。

【0040】

本発明において、REMとは、ランタノイド元素(LaからLuまでの15元素)およびSc(スカンジウム)とY(イットリウム)を含む意味である。これらの元素のなかでも、La、CeおよびYよりなる群から選ばれる少なくとも1種の元素を含有することが好ましく、より好ましくはLaおよび/またはCeを含有するのがよい。

【0041】

本発明の高周波焼入れ用鋼は、上記成分組成を満足するものであるが、鋼の化学成分は、下記式(1)で表されるMs値が295以上、315未満を満足していることが好まし

10

20

30

40

50

い。下記式(1)中、[ ]は各元素の含有量(質量%)を示している。なお、式(1)は、選択成分(Mo、Ni、Cu、V)を含んでいるが、これらの選択成分を含まないときは、含有量を0質量%としてMs値を算出する。

$$Ms \text{ 値} = 538 - 317 \times [C] - 11 \times [Si] - 33 \times [Mn] - 28 \times [Cr] - 11 \times [Mo] - 17 \times [Ni] - 11 \times [Cu] + 6 \times [V] + 10 \times [Al] \quad \cdot \cdot (1)$$

【0042】

[Ms値：295以上、315未満]

Ms値を295以上、315未満の範囲に制御することによって、高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度および靱性を更に向上させることができる。即ち、Ms値は、高周波焼入れ後の鋼部品に含まれる残留オーステナイト量に影響を及ぼす因子であり、Ms値を適切な範囲に制御することによって、残留オーステナイトを所定量生成させることができる。Ms値が295未満では焼き割れが発生することがあるとともに、残留オーステナイトが多く生成し過ぎて強度が低下することがある。従ってMs値は295以上であることが好ましく、より好ましくは297以上、更に好ましくは300以上である。しかしMs値が315以上では残留オーステナイトが殆ど生成しなくなり、靱性が劣化する傾向がある。従ってMs値は315未満であることが好ましく、より好ましくは314以下、更に好ましくは313以下である。

10

【0043】

次に、本発明に係る高周波焼入れ用鋼を好適に製造できる方法について説明する。

20

【0044】

本発明の高周波焼入れ用鋼は、上記成分組成を満足する鋼を、850～1250の温度域で熱間加工した後、該熱間加工温度から500までの温度範囲を5～10/秒の平均冷却速度で冷却することによって製造できる。

【0045】

[熱間加工]

熱間加工は、850～1250の温度域で行う。この温度域で熱間加工することによって、低い変形抵抗下で鋼を加工できる。熱間加工温度が850未満では、鋼の変形抵抗が十分に低下していないため所望の加工が困難となる。熱間加工は、好ましくは875以上、より好ましく900以上で行う。熱間加工温度の上限は、変形抵抗の低減による加工性向上の観点からは特に限定されないが、温度が高くなり過ぎると、鋼端部にだれが生じて鋼の取扱い性が悪くなったり、変形抵抗が低くなり過ぎて過剰な加工が施されることがある。従って熱間加工は、1250以下、好ましくは1225以下、より好ましくは1200以下で行う。

30

【0046】

なお、熱間加工とは加熱を伴う加工処理であり、熱間圧延や熱間鍛造などの塑性加工が例示される。

【0047】

[冷却]

上記温度域で熱間加工した後、冷却するが、本発明では、当該熱間加工温度から500までの温度範囲を5～10/秒の平均冷却速度で冷却することが重要である。この温度範囲の平均冷却速度を制御することによって、全組織に対するベイナイトとマルテンサイトの面積率を本発明で規定する範囲に調整できる。平均冷却速度が5/秒未満では、ベイナイトとマルテンサイト以外の組織(例えば、フェライトやパーライトなど)が多く生成するため、高周波焼入れ後の鋼部品のねじり強度を高めることができない。従って平均冷却速度は5/秒以上、好ましくは5.5/秒以上、より好ましくは6/秒以上とする。しかし平均冷却速度が10/秒を超えるとマルテンサイトが過剰に生成し、ベイナイトの生成が阻害されるため、鋼が硬くなり過ぎて靱性が劣化する。従って平均冷却速度は10/秒以下、好ましくは9/秒以下、より好ましくは8/秒以下とする。

40

【0048】

50

ここで、「当該熱間加工温度から500 までの温度範囲」の「当該熱間加工温度」とは、熱間加工したときの温度を意味する。例えば、1000 で熱間加工したときは、1000 から500 までの温度範囲を意味する。また、この温度範囲における冷却は、一定の冷却速度で冷却してもよいし、冷却速度を適宜変更して冷却してもよい。

【0049】

500 まで冷却した後は、常法に従って冷却することによって本発明に係る高周波焼入れ用鋼を製造できる。このときの平均冷却速度は、通常、おおむね0.1～5 /秒であり、上記「当該熱間加工温度から500 までの温度範囲」における平均冷却速度とは相違する。即ち、当該熱間加工温度から室温までは少なくとも二段階以上の冷却速度で冷却すればよい。

10

【0050】

得られた高周波焼入れ用鋼は、切削加工等を施して最終形状（部品形状）に仕上げる。その後、高周波焼入れ処理を行うことによって鋼部品を製造できる。高周波焼入れの条件は特に限定されず、公知の条件を採用できる。高周波焼入れ時の周波数は、例えば、30～150kHzとすればよい。

【0051】

鋼部品としては、例えば、自動車用変速機や作動装置をはじめとする各種歯車伝達装置に利用される歯車、シャフト、プーリーや等速ジョイント等、更にはクランクシャフト等の機械構造部品が挙げられる。

【0052】

以下、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明するが、本発明はもとより下記実施例によって制限を受けるものではなく、前・後記の趣旨に適合し得る範囲で適宜に変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。

20

【実施例】

【0053】

下記表1に示す化学成分組成の鋼（残部は鉄およびP、S以外の不可避不純物）150kgを真空誘導炉で溶解し、上面：245mm×下面：210mm×長さ：480mmのインゴットに鑄造し、以下の条件で熱間鍛造して45mmの丸棒とした。下記表1には、上記式（1）に基づいてMs値を算出し、その結果を併せて示す。

30

【0054】

〔熱間鍛造条件〕

上記インゴットを1200 に加熱後、熱間鍛造してピレット（155mm角）を得てから冷却した。続いてピレットを1200 に加熱した後、熱間鍛造して45mmの丸棒とし、該熱間鍛造温度から500 までの温度範囲を下記表2に示す平均冷却速度で冷却した後、約1 /秒の平均冷却速度で室温まで冷却して試験片を作製した。

【0055】

下記表2に示したNo.21は下記表1に示した鋼種sを用いた例であり、この鋼種sは、JIS G4051に規定される機械構造用炭素鋼鋼材（S55C）に相当している。

40

【0056】

得られた試験片について、下記に示す手順で金属組織および金属組織の面積率を測定した。

【0057】

（金属組織の観察）

上記試験片を、鍛造方向に対して垂直に切断し、D/4位置（Dは直径）をナイタル腐食し、光学顕微鏡（観察倍率は400倍）で観察して画像（写真）を撮影した。観察視野1視野の大きさは、縦175μm×横225μm（面積は39375μm<sup>2</sup>）である。任意の10箇所撮影した画像を分析し、各箇所のベイナイト、マルテンサイト、およびこれら以外の残留組織（フェライト、パーライト等）の組織の面積率を測定し、その平均

50

値を求めた。ベイナイト ( B ) の面積率、マルテンサイトの面積率 ( M )、およびベイナイトとマルテンサイト ( B + M ) の合計面積率と、を下記表 2 に示す。

【 0 0 5 8 】

次に、得られた試験片の靱性およびねじり強度を評価した。

【 0 0 5 9 】

試験片の靱性は、( a ) 高周波焼入れ後にシャルピー衝撃試験を行った結果と、( b ) 高周波焼入れ後の試験片に割れが発生しているかどうかで評価した。

【 0 0 6 0 】

( 靱性の評価 )

( a ) 上記試験片 ( 丸棒 ) の  $D / 4$  部 (  $D$  は直径 ) から切削加工によりシャルピー衝撃試験片を切り出した。この試験片に周波数  $40 \text{ kHz}$  の高周波焼入れを施した後、シャルピー衝撃試験を実施して衝撃値を測定した。測定結果を下記表 2 に示す。本実施例では、 $S55C$  相当鋼 (  $No. 21$  ) の衝撃値よりも衝撃値が大きいもの ( 具体的には、衝撃値が  $17 \text{ J} / \text{cm}^2$  超のもの ) を合格とした。

10

【 0 0 6 1 】

( b ) 上記高周波焼き入れを施した後、上記シャルピー衝撃試験を実施する前に、試験片を目視で観察し、焼き割れの有無を調べた。その結果を下記表 2 に示す。なお、焼き割れが発見されたものについては、後述するねじり強度は測定しなかった。

【 0 0 6 2 】

( ねじり強度の評価 )

上記試験片 ( 丸棒 ) を切削加工して、図 1 に示すねじり試験片を作製した。この試験片に周波数  $40 \text{ kHz}$  の高周波焼入れを施した後、ねじり試験を実施してねじり強度 ( 静的ねじり強度 ) を測定した。測定結果を下記表 2 に示す。本実施例では、 $No. 21$  (  $S55C$  相当鋼 ) のねじり強度よりもねじり強度が高いもの ( 具体的には、ねじり強度が  $1591 \text{ MPa}$  超のもの ) を合格とした。

20

【 0 0 6 3 】

下記表 1、表 2 から次のように考察できる。 $No. 1 \sim 5$ 、 $7$ 、 $9 \sim 20$  は、本発明で規定する要件を満足している例であり、高いねじり強度と高靱性を両立できている。特に、 $No. 2 \sim 5$ 、 $7$ 、 $9 \sim 14$ 、 $16 \sim 20$  は、 $M_s$  値が本発明で推奨する好ましい範囲を満足しているため、ねじり強度が向上している。

30

【 0 0 6 4 】

$No. 6$ 、 $8$ 、 $21 \sim 28$  は、本発明で規定する要件を満足していない例であり、ねじり強度または靱性の少なくとも一方が劣化している。

【 0 0 6 5 】

ここで  $No. 6 \sim 8$  について詳細に考察する。 $No. 6 \sim 8$  は、同じ鋼種を用い、熱間鍛造温度から  $500$  までの温度範囲における平均冷却速度を変化させた例である。これらのうち  $No. 6$  は、上記平均冷却速度が本発明で規定する範囲よりも小さい例であり、ベイナイトの生成量が少なく、またベイナイトとマルテンサイトの合計面積率も小さくなっている。従ってねじり強度が小さくなっている。一方、 $No. 8$  は、上記平均冷却速度が本発明で規定する範囲を超えて大きい例であり、ベイナイトの生成量が少なく、ベイナイトより硬質なマルテンサイトの生成量が多くなっている。従って靱性が劣化している。これらに対し、 $No. 7$  は、上記平均冷却速度を適切に制御しているため、ねじり強度が高く、しかも高靱性を両立できている。

40

【 0 0 6 6 】

$No. 21$  は、 $JIS G4051$  に規定される  $S55C$  相当鋼であり、 $A1$  量が少なく、また  $B$  を含有していないため、ベイナイトおよびマルテンサイトが生成していない。本発明では、 $No. 21$  のねじり強度と靱性を基準とし、これを超える例を発明例とする。

【 0 0 6 7 】

$No. 22$  は、 $C$  を過剰に含有しているため、鋼が硬くなり過ぎて靱性が劣化し、高周

50

波焼入れ時に割れが発生している。また、Alが少な過ぎるため、ベイナイトが生成せず、靱性が劣化している。No. 23は、Cを過剰に含有しているため、鋼が硬くなり過ぎて靱性が劣化し、高周波焼入れ時に割れが発生している。No. 24は、Crが少な過ぎる例であり、ベイナイトとマルテンサイトが殆ど生成しないため、ねじり強度が低くなっている。No. 25は、Cが少な過ぎる例であり、ベイナイトとマルテンサイトが殆ど生成しないため、ねじり強度が低くなっている。No. 26は、Nが少な過ぎる例であり、AlNの生成量が不足しているため靱性が劣化している。No. 27は、Alを過剰に含有する例であり、ベイナイトよりもマルテンサイトが多く生成し、靱性が劣化している。No. 28は、Bを過剰に含有する例であり、焼入れ性が向上し過ぎてベイナイトが生成せず、マルテンサイトが過剰に生成している。そのため鋼が硬くなり過ぎて靱性が劣化し、高周波焼入れ時に割れが発生している。

10

【0068】

【表1】

鋼種	化学成分(質量%)											Ms値
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	B	N	その他		
a	0.49	0.58	1.61	0.015	0.073	0.12	0.08	0.0010	0.0100			320
b	0.55	0.32	1.34	0.010	0.012	0.12	0.24	0.0021	0.0102			314
c	0.47	1.76	1.63	0.029	0.039	0.29	0.46	0.0056	0.0101			312
d	0.52	0.66	1.59	0.026	0.084	0.09	0.17	0.0022	0.0196			312
e	0.46	1.41	1.71	0.002	0.053	0.25	0.11	0.0079	0.0061			314
f	0.61	0.21	1.00	0.003	0.023	0.09	0.33	0.0095	0.0062			309
g	0.54	0.07	1.47	0.026	0.084	0.17	0.16	0.0071	0.0156			314
h	0.54	1.75	1.14	0.007	0.025	0.26	0.31	0.0066	0.0099			305
i	0.48	1.52	1.75	0.016	0.068	0.09	0.17	0.0081	0.0129			310
j	0.54	0.62	1.34	0.027	0.004	0.10	0.21	0.0049	0.0134			314
k	0.56	0.93	1.34	0.023	0.018	0.29	0.08	0.0055	0.0041			298
l	0.51	1.21	1.37	0.025	0.047	0.13	0.15	0.0086	0.0125	Mo:0.12		314
m	0.52	0.77	1.29	0.024	0.049	0.25	0.16	0.0034	0.0112	Ti:0.06		316
n	0.54	0.74	1.15	0.011	0.056	0.18	0.23	0.0063	0.0136	Ni:0.25		314
o	0.50	1.31	1.23	0.017	0.018	0.13	0.21	0.0084	0.0140	Mo:0.24, Cu:0.11, Ni:0.28		314
p	0.54	1.67	0.91	0.009	0.005	0.17	0.45	0.0076	0.0097	Mo:0.10, Cu:0.24, Ni:0.11		313
q	0.47	1.72	1.61	0.022	0.067	0.06	0.27	0.0042	0.0080	Ti:0.05, Ni:0.23		314
r	0.49	0.54	1.73	0.006	0.045	0.11	0.13	0.0049	0.0100	Cu:0.31, Ca:0.0022		314
s	0.55	0.25	0.73	0.010	0.018	0.06	0.01	0.0000	0.0069			335
t	0.67	0.50	1.87	0.021	0.072	0.29	0.01	0.0069	0.0058			250
u	0.72	1.82	0.83	0.003	0.063	0.12	0.15	0.0028	0.0132			260
v	0.41	0.26	0.42	0.028	0.043	0.04	0.49	0.0055	0.0125			394
w	0.32	0.43	0.95	0.022	0.047	0.07	0.35	0.0040	0.0113			401
x	0.56	0.25	1.33	0.017	0.052	0.20	0.11	0.0035	0.0034			309
y	0.47	0.45	1.68	0.021	0.017	0.25	0.55	0.0073	0.0126			326
z	0.59	0.65	1.65	0.016	0.097	0.05	0.10	0.0121	0.0221			288

20

30

40

【0069】

50

【表 2】

No.	鋼種	平均冷却速度 (°C/秒)	B (面積%)	M (面積%)	B+M (面積%)	靱性 (J/cm <sup>2</sup> )	焼き割れの 有無	ねじり強度 (MPa)
1	a	6	64	6	70	23	無	1956
2	b	6	61	26	87	31	無	1949
3	c	6	52	48	100	32	無	2014
4	d	6	65	35	100	23	無	1996
5	e	6	80	5	85	25	無	1998
6	f	1	17	0	17	35	無	1566
7	f	6	51	21	72	29	無	1927
8	f	12	34	66	100	14	無	1840
9	g	6	58	36	94	24	無	1918
10	h	6	51	20	71	24	無	2079
11	i	6	69	27	96	24	無	2032
12	j	6	52	24	76	27	無	2003
13	k	6	53	29	82	20	無	2075
14	l	6	61	23	84	21	無	2025
15	m	6	70	1	71	23	無	1971
16	n	6	69	3	72	24	無	1975
17	o	6	56	19	75	24	無	1991
18	p	6	52	22	74	27	無	2022
19	q	6	71	25	96	24	無	2005
20	r	6	69	31	100	29	無	1970
21	s	6	0	0	0	17	無	1591
22	t	6	0	97	97	16	有	-
23	u	6	0	82	82	7	有	-
24	v	6	9	0	9	33	無	1317
25	w	6	4	0	4	38	無	1469
26	x	6	51	25	76	15	無	1951
27	y	6	26	74	100	12	無	1861
28	z	6	0	96	96	16	有	-

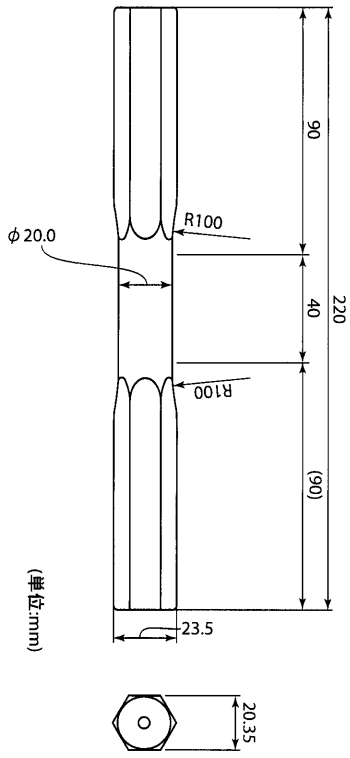
※B=ベイナイト、M=マルテンサイト、B+M=ベイナイト+マルテンサイト

10

20

30

【 図 1 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 松ヶ迫 亮廣

兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(72)発明者 増田 智一

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号 株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

Fターム(参考) 4K032 AA01 AA02 AA05 AA06 AA08 AA11 AA14 AA15 AA16 AA19  
AA21 AA22 AA23 AA24 AA27 AA29 AA31 AA32 AA35 AA36  
AA40 BA02 CA03 CC04 CD01 CD02