

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5014257号
(P5014257)

(45) 発行日 平成24年8月29日(2012.8.29)

(24) 登録日 平成24年6月15日(2012.6.15)

| (51) Int.Cl. | | F I | |
|----------------|--------------|------------------|-----------------------|
| C 2 2 C | 38/00 | (2006.01) | C 2 2 C 38/00 3 0 1 A |
| C 2 2 C | 38/50 | (2006.01) | C 2 2 C 38/50 |
| C 2 1 D | 8/06 | (2006.01) | C 2 1 D 8/06 A |
| F 1 6 F | 1/02 | (2006.01) | F 1 6 F 1/02 A |

請求項の数 6 (全 10 頁)

| | | | |
|------------|-----------------------------------|-----------|---------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2008-137233 (P2008-137233) | (73) 特許権者 | 000001199 |
| (22) 出願日 | 平成20年5月26日(2008.5.26) | | 株式会社神戸製鋼所 |
| (62) 分割の表示 | 特願2000-62575 (P2000-62575) の分割 | | 兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番2 6号 |
| 原出願日 | 平成12年3月7日(2000.3.7) | (74) 代理人 | 100075409 |
| (65) 公開番号 | 特開2008-261055 (P2008-261055A) | | 弁理士 植木 久一 |
| (43) 公開日 | 平成20年10月30日(2008.10.30) | (74) 代理人 | 100115082 |
| 審査請求日 | 平成20年6月23日(2008.6.23) | | 弁理士 菅河 忠志 |
| | | (74) 代理人 | 100125184 |
| | | | 弁理士 二口 治 |
| | | (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】 高強度高靱性マルテンサイト鋼

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

C : 0.1 ~ 0.6% (質量%の意味。以下、成分について同じ)、

Si : 0.10 ~ 1.75%、

Mn : 0.25 ~ 0.70%、および

N : 0.0025 ~ 0.0050%を含有し、

更に、

Cr : 1%以下、および/または

Mo : 1%以下を含有し、

残部：鉄および不可避不純物からなり、

旧オーステナイト平均粒径Dが10μm以上20μm以下で、

平均マルテンサイトラス長さが、上記粒径Dの30%以下であることを特徴とするばね用
またはボルト用の高強度高靱性マルテンサイト鋼。

【請求項2】

平均マルテンサイトラス長さが4.0μm以下である請求項1に記載の高強度高靱性マル
テンサイト鋼。

【請求項3】

更に、Ni : 0.52%以下を含有する請求項1または2に記載の高強度高靱性マルテン
サイト鋼。

【請求項4】

更に、B : 0 . 0 0 2 % 以下を含有する請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の高強度高靱性マルテンサイト鋼。

【請求項 5】

更に、

T i : 0 . 0 7 % 以下、

N b : 0 . 0 5 % 以下、

V : 0 . 2 % 以下、および

H f : 0 . 0 7 % 以下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請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の高強度高靱性マルテンサイト鋼。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の高強度高靱性マルテンサイト鋼を用いて得られる高強度高靱性ばね。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高強度高靱性マルテンサイト鋼と、上記高強度高靱性マルテンサイト鋼を用いてなる高強度高靱性ばねに関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年自動車の燃費改善に向けた使用鋼材の軽量化ニーズが高まっており、ばね用鋼やボルト用鋼などの高強度鋼に対しても、より一層の高強度化が要求されている。

【0003】

上記高強度鋼としてはマルテンサイト鋼が用いられているが、高強度化の弊害として鋼材の靱性の劣化があり、高強度化の一方で、遅れ破壊感受性や腐食疲労特性の向上が重要な課題として取り上げられ、種々の技術が提案されている。

【0004】

例えば、特許文献 1 (特公昭 60 - 30736 号公報) では、冷間成形コイルばねの靱性の向上を目的として、高周波加熱焼入れによって微細マルテンサイトを生成させる方法が開示されている。但し、これは通常の高周波加熱処理でオーステナイト粒を微細化し間接的にマルテンサイトを微細化する技術であることから、靱性向上の程度も十分に満足できるものではなく、更なる高靱性化技術の開発が望まれている。

【0005】

また特許文献 2 (特開平 6 - 116637 号公報) には、成分組成としては Ni を多量に (8 ~ 11 %) 含有させると共に、昇温中にせん断型逆変態オーステナイト相を生成させ、転位密度の高い未変態オーステナイトから焼入れることでマルテンサイト鋼の靱性を向上させる方法が開示されている。しかし、Ni は積極的に利用するには高価な元素であるという問題点がある。

【0006】

更に、特許文献 3 (特開平 11 - 229075 号公報) では、成分組成を限定し、昇温速度及び冷却速度を制限することで高強度鋼の耐遅れ破壊性を高める方法が開示されている。但し、この技術は利用範囲が厚板に限定されていると共に、到達強度が引張強さで最大 1551 MPa であり、靱性を示す破断応力も 945 MPa と低く、自動車に使用される高強度鋼としては強度及び靱性が不足している。

【特許文献 1】特公昭 60 - 30736 号公報

【特許文献 2】特開平 6 - 116637 号公報

【特許文献 3】特開平 11 - 229075 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は上記事情に着目してなされたものであって、自動車用のばねやボルトとして用

10

20

30

40

50

いても十分な強度を有すると共に、靱性にも優れたマルテンサイト鋼を提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決した本発明の高強度高靱性マルテンサイト鋼とは、C：0.1～0.6%（質量%の意味。以下、成分について同じ）、Si：0.10～1.75%、Mn：0.25～0.70%、およびN：0.0025～0.0050%を含有し、更に、Cr：1%以下、および/またはMo：1%以下を含有し、残部：鉄および不可避不純物からなり、旧オーステナイト平均粒径Dが10μm以上20μm以下で、平均マルテンサイトラス長さが、上記粒径Dの30%以下であることを要旨とするものである。また、平均マルテンサイトラス長さを4.0μm以下とすることで高い靱性を発揮するマルテンサイト鋼とすることができる。

10

【0009】

本発明の高強度高靱性マルテンサイト鋼は、更に、

(a) Ni：0.52%以下、

(b) B：0.002%以下、

(c) Ti：0.07%以下、Nb：0.05%以下、V：0.2%以下、およびHf：

0.07%以下よりなる群から選ばれる少なくとも1種の元素、を含有してもよい。

【0010】

本発明に係る高強度高靱性マルテンサイト鋼は、高強度高靱性ばねとして好適である。

【発明の効果】

【0011】

本発明は以上の様に構成されているので、自動車用のばねやボルトとして用いても十分な強度を有すると共に、靱性にも優れたマルテンサイト鋼が提供できることとなった。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明者らは、マルテンサイト鋼の高靱性化を図るべく種々検討を重ねた結果、高靱性化を図る上で非常に優れたマルテンサイト金属組織が存在することを突き止めた。具体的には、旧オーステナイトの平均結晶粒径とマルテンサイトの下部組織であるラスの平均長さの比において、旧オーステナイト粒径の30%以下にマルテンサイトラス長さを微細化することで靱性を向上させることが可能であることを見出し、本発明に想到した。

30

【0013】

更に本発明者らは、以上のような相対的な組織制御による靱性向上だけではなく、絶対的な組織制御の条件として、マルテンサイトの下部組織であるラスの平均長さを4.0μm以下とすることにより非常に靱性に優れたマルテンサイト鋼を得ることができるとの知見を得た。マルテンサイトのラスの平均長さは、少なくとも4μmを超えており通常5μm以上であるが、後述の実施例からも明らかな通り、4.0μm以下とすることが望ましく、3.0μm以下であればより優れた靱性が得られる。

【0014】

尚、成分組成に関しては、マルテンサイトの強度を確保するという観点から、C含有量を0.1%以上とすることが望ましく、0.2%以上とすればより望ましい。上限は靱性の低い双晶マルテンサイトが主体となり始める0.6%とすることが望ましく、0.5%以下であればより望ましい。

40

【0015】

Si, Mn, P, S, Al, N, Bなどの元素は、用途に合わせて適量添加したり低減すればよく、例えば、ばね鋼であれば耐へたり性を高めるためには、Siを1%以上含有させることが望ましい。

【0016】

V, Nb, Ti, Hfは微量の添加で炭化物を生成し強度を高める元素であり、また水

50

素トラップサイトとなって耐遅れ破壊特性を向上させる効果を持つので含有させることが望ましいが、多すぎると靱性が低下するので総量で0.2%以下とすれば望ましい。

【0017】

Mn, Crは焼入性を制御したり、炭・窒化物による強度バランスを調整する上で有効な元素である。但し、多すぎると靱性に悪影響を及ぼすので、1%以下とすることが望ましい。

【0018】

次に本発明に係る高強度高靱性マルテンサイト鋼を製造する方法を示す。

上記高強度高靱性マルテンサイト鋼を製造するにあたっては、500以下の温度にて少なくとも真ひずみ0.20以上の冷間加工を施す工程、加熱速度50/s以上で、Ac₃点+150以上1020以下に加熱し、13秒以下(0秒を含む)の時間加熱する工程、50/s以上の冷却速度で急冷する焼入れ工程を有する製造方法を採用すればよい。

即ち、急速加熱焼入れ処理の前段の冷間加工度を制御することが非常に重要であり、真ひずみで0.20以上の強加工を行っておくことで単純な微細マルテンサイト組織ではなく、その下部構造の制御が可能となる。従来は、線材であれば線径を整える製寸を目的として低加工度で伸線することが一般的であった(例えば、特公平3-6981号公報)。本発明では十分な前加工を施すことで、単純熱処理によるマルテンサイト下部構造の制御が可能になる。換言すれば、伸線加工度を高めることによりマルテンサイトの下部構造であるラスを微細化してランダムに配向させ靱性を向上させるものである。但し、加工温度が500を超えると回復が進行し、下部構造の制御の効果が薄れるため、上限は500とした。

【0019】

加熱速度は50/s以上とすべきであり、100/s以上の速度で加熱すると望ましい。鋼の昇温中の相変態は冷却中の相変態と同様、拡散型の相変態とするのが普通であるが、拡散変態では原子配列がリフレッシュされるため冷間加工で生じさせたひずみ(転位)はキャンセルされてしまう。ところが加熱速度を高めて、逆変態の駆動力を高めると、冷却時のマルテンサイト変態と同様にオーステナイト相への逆変態も無拡散型の相変態となる。尚、マルエージ鋼やステンレス鋼などの高合金鋼では、昇温時の無拡散型逆変態が、通常の加熱速度で起こることが知られている。これはNiやCrなど、比較的拡散の遅い置換型元素が多量に添加されるため、拡散変態を遅らせることが容易な鋼種での知見である。これに対して本発明では、拡散の早い侵入型元素である炭素が拡散変態を律速するような低中炭素鋼においても、Cの拡散変態を生じさせない急速加熱を行うことで、無拡散型変態が実現したものである。無拡散型変態を起こさせることで、冷間加工で与えた転位が高温相であるオーステナイト相にそのまま引き継がれ、あたかもオーステナイト相を加工した状態を得ることが可能となる。

【0020】

無拡散変態を生じさせる駆動力を得る上で過昇温することが熱力学的に不可欠である。従って加熱温度は、Ac₃点+150以上とすることが必要であり、Ac₃点+200以上であると望ましい。Ac₃点+150に満たない温度への加熱は拡散変態が生じてしまう。また加熱温度が高すぎると、無拡散変態を実現させて得られた加工状態のオーステナイト相の再結晶が発生し、転位が消滅してしまうため1020までに抑えることが望ましい。

【0021】

加熱時間は無拡散変態させるには1秒もあれば十分であるが、鋼材中心までの加熱のために5秒以上確保することが望ましい。さらに冷間加工で与えたひずみと、急昇温逆変態で与えたひずみを効率よく冷却でのマルテンサイト変態に引き継ぐために13秒以下に制御することが望ましく、10秒未満であればより望ましい。

【0022】

冷却工程では通常の焼入れと同様に、臨界冷却速度以上で急冷しマルテンサイト変態を

10

20

30

40

50

起こさせればよい。冷却速度を大きくするほどラスの微細化には効果的であり、焼き割れの生じない範囲において50 / s以上の冷却速度にすることが効果的である。

【0023】

これまでは、オーステナイト粒を微細化することで間接的にパケットサイズを微細化することに留まっていたが、本発明方法によればオーステナイト粒を微細にすることに加えて、パケットサイズを更に微細化することが可能であり、靱性を高めることで、マルテンサイト鋼の高強度化を阻害する耐腐食疲労や耐遅れ破壊などの様々な問題点を克服することが可能であり、従来にない高強度かつ高靱性なマルテンサイト組織を得ることができる。

【0024】

加熱装置は特に定めないが適用する製品に合わせて適宜選択すれば良く、直火式のガス加熱炉、誘導加熱装置、通電式の加熱装置、イメージ炉などが例示できる。また、焼入れ後の焼戻し工程も適宜選択すれば良く、電気炉焼戻しでもかまわないし、溶融金属浴による焼戻しや高周波加熱焼戻しでもよい。

【0025】

以下、本発明を実施例によって更に詳細に説明するが、下記実施例は本発明を限定する性質のものではなく、前・後記の主旨に徴して設計変更することはいずれも本発明の技術的範囲内に含まれるものである。

【実施例】

【0026】

表1に示す鋼材を用いて、加工度5～50%の範囲で伸線加工し、急速加熱焼入れした後、鉛焼戻しを行い、強度を1600～2200MPaに調整した。

【0027】

【表1】

| | 成分組成(%) | | | | | | | | | | | | Ac3 (°C) |
|---|---------|------|------|------|------|------|-------|--------|------|------|-----|------|-------------|
| | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | B | N | Ti | Nb | V | Hf | |
| a | 0.55 | 1.30 | 0.60 | | 0.68 | | | 0.0050 | | | | | 798 |
| b | 0.52 | 1.40 | 0.70 | | 0.70 | | | 0.0040 | | | | | 807 |
| c | 0.42 | 1.75 | 0.25 | 0.52 | 1.00 | | | 0.0033 | 0.07 | | 0.2 | | 852 |
| d | 0.35 | 0.10 | 0.45 | | 0.03 | | | 0.0035 | | | | 0.07 | 778 |
| e | 0.14 | 0.80 | 0.70 | | 0.20 | | 0.002 | 0.0033 | 0.04 | | | | 860 |
| f | 0.58 | 0.90 | 0.65 | | | 0.20 | | 0.0025 | | 0.05 | | | 781 |
| g | 0.45 | 0.55 | 0.49 | | 0.20 | | 0.002 | 0.0034 | 0.05 | | | 0.05 | 780 |
| h | 0.08 | 0.56 | 1.70 | | | 0.02 | | 0.0065 | | 0.03 | | | 871 |

【0028】

なお、靱性の評価は、以下に示す陰極CH寿命により行い、寿命1000秒を超えるものが実用に適する靱性を有するものであることから、寿命1000秒を靱性の合否判定基準とした。即ち、線材から放電加工により長さ65mm、幅15mm、厚さ1.5mmの板状の試験片を切り出し、図1に示す治具1にて4点で支え、曲げ応力1400MPaを与えた。上記試験片2を装着した治具1を、0.5mol/lの硫酸と0.01mol/lのKSCNの混合液に浸し、陽極に白金電極を用い、陰極電位-700mVを付加することで、試験片2に電気化学的に水素を供給した。電位付与後、曲げ応力を与えた試験片が破断するまでの時間を測定し、靱性を評価した。これは特性の優れるものは寿命が長い、靱性に乏しい材料は、それ以下の時間で早期破断する特徴を利用した試験方法である。

【0029】

また旧オーステナイト平均粒径Dは、常法の組織現出方法によって得られる旧オーステナイト粒の平均粒切片により求めた。

【 0 0 3 0 】

さらに平均マルテンサイト長さの測定は、透過型電子顕微鏡にて観察される $10 \mu\text{m} \times 14 \mu\text{m}$ の視野中に観察される任意のマルテンサイト長さを 10 個測定し、5 視野での平均値を求めた。なお、本発明例である No. 3 の電子顕微鏡写真を図 2 に、比較例である No. 8 の電子顕微鏡写真を図 3 に示す。

【 0 0 3 1 】

結果は、表 2 に示す。

【 0 0 3 2 】

【表 2】

| No. | 鋼材 | 加工度 | 加熱速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$) | 到達温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 加熱時間 (s) | 冷却速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$) | 旧 γ 粒径 (μm) | ラス長さ (μm) | 相対比A | 引張強度 (MPa) | 陰極CH寿命 (秒) |
|-----|----|------|---|--------------------------------|-------------|---|------------------------------------|---------------------------|------|---------------|---------------|
| 1 | a | 0.20 | 100 | 1020 | 8 | 100 | 13 | 2.5 | 0.19 | 1650 | 1150 |
| 2 | b | 0.35 | 100 | 1000 | 8 | 100 | 12 | 2.4 | 0.20 | 1820 | 1140 |
| 3 | c | 0.25 | 100 | 1020 | 13 | 70 | 10 | 1.8 | 0.18 | 2010 | 1290 |
| 4 | d | 0.37 | 200 | 950 | 10 | 50 | 11 | 2.5 | 0.22 | 1580 | 1050 |
| 5 | e | 0.38 | 200 | 1020 | 8 | 80 | 10 | 3.0 | 0.30 | 1410 | 1120 |
| 6 | f | 0.50 | 200 | 950 | 0 | 100 | 12 | 1.3 | 0.11 | 1720 | 1100 |
| 7 | g | 0.25 | 200 | 950 | 5 | 100 | 14 | 3.5 | 0.25 | 1690 | 1150 |
| 8 | h | 0.22 | 100 | 1050 | 8 | 100 | 13 | 7.2 | 0.55 | 1210 | 240 |
| 9 | a | 0.10 | 100 | 948 | 8 | 100 | 13 | 4.8 | 0.37 | 1650 | 252 |
| 10 | b | 0.39 | 7 | 980 | 8 | 100 | 12 | 4.2 | 0.35 | 1820 | 693 |
| 11 | c | 0.32 | 100 | 952 | 9 | 100 | 12 | 4.8 | 0.40 | 1960 | 253 |
| 12 | d | 0.29 | 200 | 1200 | 8 | 100 | 14 | 5.2 | 0.37 | 1450 | 499 |
| 13 | e | 0.30 | 100 | 1020 | 20 | 100 | 20 | 8.2 | 0.41 | 1300 | 256 |
| 14 | f | 0.35 | 200 | 970 | 0 | 40 | 14 | 6.0 | 0.43 | 1140 | 240 |

【 0 0 3 3 】

10

20

30

40

50

ラスの平均長さが4.0 μm以下であるNo. 1~7の本発明例では、十分な強度と優れた靱性を有することが分かる。これに対してラスの平均長さが4.0 μmを超えるNo. 8~14の比較例では、靱性に乏しい。

【0034】

更に、表2の試験結果の中で、旧オーステナイト平均粒径に対する平均マルテンサイトラス長さの比(以下、相対比Aという)と陰極CH寿命をプロットしたグラフを図4に示す。相対比Aを30%以下とすることにより優れた靱性が得られることが分かる。

【0035】

また、図5には、表2の試験結果の中で、引張強度と陰極CH寿命(靱性)のデータをプロットしたグラフである。一般的には、強度が大きくなると靱性は低下するが、本発明例では、強度が大きくなっても靱性は高く維持されていることが分かる。

10

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】陰極CH寿命の測定方法を示す説明図である。

【図2】本発明に係る高強度高靱性マルテンサイト鋼の金属組織を撮影した電子顕微鏡写真である。

【図3】比較例のマルテンサイト鋼の金属組織を撮影した電子顕微鏡写真である。

【図4】マルテンサイト鋼の前記相対比Aと陰極CH寿命の関係を示すグラフである。

【図5】マルテンサイト鋼の引張強度と陰極CH寿命の関係を示すグラフである。

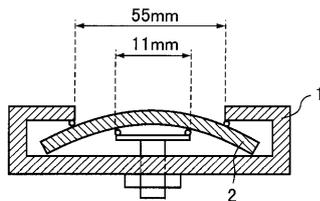
【符号の説明】

20

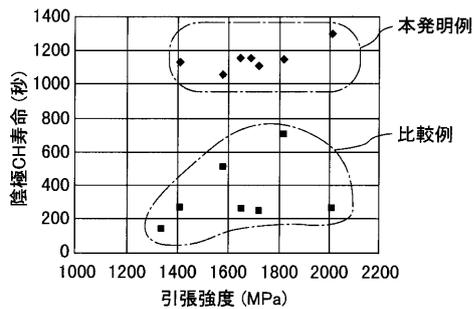
【0037】

- 1 治具
- 2 試験片

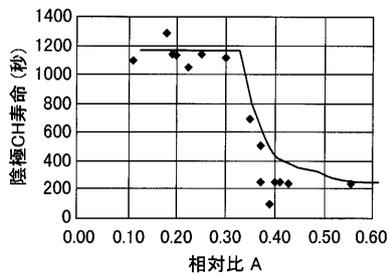
【図1】



【図5】



【図4】



【図2】



× 7500

2 μm

本発明例

【図3】



× 7500

2 μm

従来例

フロントページの続き

(72)発明者 長尾 護

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

(72)発明者 家口 浩

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

(72)発明者 高知 琢哉

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

審査官 本多 仁

(56)参考文献 特開昭59-096246(JP,A)

特開平05-331597(JP,A)

特開昭57-134515(JP,A)

牧正志ら,ラスマルテンサイトの組織構成,鉄と鋼,日本,日本鉄鋼協会,1979年4月
1日,第65巻第5号,p.515~524

ばね,日本,丸善株式会社,1982年12月20日,p.65~66

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

C22C 38/00-38/60