

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5328331号  
(P5328331)

(45) 発行日 平成25年10月30日(2013.10.30)

(24) 登録日 平成25年8月2日(2013.8.2)

(51) Int.Cl.	F I	
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 1 U
C 2 2 C 38/54 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 1 W
C 2 2 C 38/26 (2006.01)	C 2 2 C 38/54	
C 2 1 D 9/46 (2006.01)	C 2 2 C 38/26	
	C 2 1 D 9/46	F
請求項の数 8 (全 14 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2008-316006 (P2008-316006)	(73) 特許権者	000004581 日新製鋼株式会社 東京都千代田区丸の内3丁目4番1号
(22) 出願日	平成20年12月11日(2008.12.11)	(74) 代理人	100129470 弁理士 小松 高
(65) 公開番号	特開2010-138453 (P2010-138453A)	(74) 代理人	100076130 弁理士 和田 憲治
(43) 公開日	平成22年6月24日(2010.6.24)	(72) 発明者	久保 寛典 広島県呉市昭和町11番1号 日新製鋼株式会社内
審査請求日	平成23年11月17日(2011.11.17)	(72) 発明者	藤原 勝 広島県呉市昭和町11番1号 日新製鋼株式会社内
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】耐摩耗性焼入れ焼戻し部品用鋼材および製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、C : 0.6 ~ 1.0 %、Si : 0.5 %以下、Mn : 0.1 ~ 1.5 %、P : 0.02 %以下、S : 0.02 %以下、Cr : 0.1 ~ 1.5 %、Nb : 0.1 ~ 0.5 %、残部Feおよび不可避免的不純物からなり、下記(1)式で定義される理想臨界直径 $D_1$ が50以上である化学組成を有し、Nbを含有する粒子径2 μm以上の炭化物が300 ~ 1000個/mm<sup>2</sup>の密度でマトリクス中に存在する耐摩耗性焼入れ焼戻し部品用鋼材。

$$D_1 = 6.0 (C)^{1/2} \times (1 + 0.64 Si) \times (1 + 4.1 Mn) \times (1 + 2.83 P) \times (1 - 0.62 S) \times (1 + 2.33 Cr) \times (1 + 1.52 Ni) \times (1 + 3.14 Mo) \dots (1)$$

ただし、(1)式右辺の元素記号の箇所には質量%で表された当該元素の含有量値が代入され、含有しない元素については0(ゼロ)が代入される。

【請求項2】

質量%で、C : 0.6 ~ 1.0 %、Si : 0.5 %以下、Mn : 0.1 ~ 1.5 %、P : 0.02 %以下、S : 0.02 %以下、Cr : 0.1 ~ 1.5 %、Nb : 0.1 ~ 0.5 %であり、さらにMo : 0.5 %以下、V : 0.5 %以下、Ni : 2 %以下、Ti : 0.25 %以下、B : 0.005 %以下の1種以上を含有し、残部Feおよび不可避免的不純物からなり、B含有量に応じて下記(1)式または(2)式で定義される理想臨界直径 $D_1$ が50以上である化学組成を有し、Nb、Tiの1種以上を含有する粒子径2 μm以上の炭化物が300 ~ 1000個/mm<sup>2</sup>の密度でマトリクス中に存在する耐摩耗性焼入れ焼戻し部品用

鋼材。

B含有量0.0005%未満(0%を含む)の場合： $D_1 = 6.0(C)^{1/2} \times (1 + 0.64Si) \times (1 + 4.1Mn) \times (1 + 2.83P) \times (1 - 0.62S) \times (1 + 2.33Cr) \times (1 + 1.52Ni) \times (1 + 3.14Mo) \dots (1)$

B含有量0.0005%以上の場合： $D_1 = 6.0(C)^{1/2} \times (1 + 0.64Si) \times (1 + 4.1Mn) \times (1 + 2.83P) \times (1 - 0.62S) \times (1 + 2.33Cr) \times (1 + 1.52Ni) \times (1 + 3.14Mo) \times \{1 + 1.5 \times (0.9 - C)\} \dots (2)$

ただし、(1)式または(2)式右辺の元素記号の箇所には質量%で表された当該元素の含有量値が代入され、含有しない元素については0(ゼロ)が代入される。

【請求項3】

前記耐摩耗性焼入れ焼戻し部品が鋸刃である請求項1または2に記載の鋼材。

【請求項4】

質量%で、C：0.6～1.0%、Si：0.5%以下、Mn：0.1～1.5%、P：0.02%以下、S：0.02%以下、Cr：0.1～1.5%、Nb：0.1～0.5%、残部Feおよび不可避的不純物からなり、下記(1)式で定義される理想臨界直径 $D_1$ が50以上である組成に成分調整された鋼を鑄造したのち放冷することによりNbを含有する粗大炭化物を析出させる工程、

前記粗大炭化物が存在する鋼を1200～1350 に加熱保持することによりNbを含有する粒子径2 $\mu$ m以上の炭化物の密度を300～1000個/mm<sup>2</sup>に調整する工程

を有する耐摩耗性焼入れ焼戻し部品用鋼材の製造方法。

$D_1 = 6.0(C)^{1/2} \times (1 + 0.64Si) \times (1 + 4.1Mn) \times (1 + 2.83P) \times (1 - 0.62S) \times (1 + 2.33Cr) \times (1 + 1.52Ni) \times (1 + 3.14Mo) \dots (1)$

ただし、(1)式右辺の元素記号の箇所には質量%で表された当該元素の含有量値が代入され、含有しない元素については0(ゼロ)が代入される。

【請求項5】

質量%で、C：0.6～1.0%、Si：0.5%以下、Mn：0.1～1.5%、P：0.02%以下、S：0.02%以下、Cr：0.1～1.5%、Nb：0.1～0.5%であり、さらにMo：0.5%以下、V：0.5%以下、Ni：2%以下、Ti：0.25%以下、B：0.005%以下の1種以上を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなり、B含有量に応じて下記(1)式または(2)式で定義される理想臨界直径 $D_1$ が50以上である組成に成分調整された鋼を鑄造したのち放冷することによりNb、Tiの1種以上を含有する粗大炭化物を析出させる工程、

前記粗大炭化物が存在する鋼を1200～1350 に加熱保持することによりNb、Tiの1種以上を含有する粒子径2 $\mu$ m以上の炭化物の密度を300～1000個/mm<sup>2</sup>に調整する工程、

を有する耐摩耗性焼入れ焼戻し部品用鋼材の製造方法。

B含有量0.0005%未満(0%を含む)の場合： $D_1 = 6.0(C)^{1/2} \times (1 + 0.64Si) \times (1 + 4.1Mn) \times (1 + 2.83P) \times (1 - 0.62S) \times (1 + 2.33Cr) \times (1 + 1.52Ni) \times (1 + 3.14Mo) \dots (1)$

B含有量0.0005%以上の場合： $D_1 = 6.0(C)^{1/2} \times (1 + 0.64Si) \times (1 + 4.1Mn) \times (1 + 2.83P) \times (1 - 0.62S) \times (1 + 2.33Cr) \times (1 + 1.52Ni) \times (1 + 3.14Mo) \times \{1 + 1.5 \times (0.9 - C)\} \dots (2)$

ただし、(1)式または(2)式右辺の元素記号の箇所には質量%で表された当該元素の含有量値が代入され、含有しない元素については0(ゼロ)が代入される。

【請求項6】

前記炭化物の密度を300～1000個/mm<sup>2</sup>に調整する工程を経た後、加熱抽出温度1100～1300、仕上圧延温度800～900、巻取温度750以下の条件で熱間圧延し、600以上Ac<sub>1</sub>点未満の温度域に加熱保持する工程に供する請求項4

10

20

30

40

50

または 5 に記載の耐摩耗性焼入れ焼戻し部品用鋼材の製造方法。

【請求項 7】

さらに冷間圧延し、600 以上  $A_{c_1}$  点未満の温度域に加熱保持する工程に供する請求項 6 に記載の耐摩耗性焼入れ焼戻し部品用鋼材の製造方法。

【請求項 8】

前記耐摩耗性焼入れ焼戻し部品が鋸刃である請求項 4 ~ 7 のいずれかに記載の鋼材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、耐摩耗性に優れた焼入れ焼戻し部品用の鋼材、およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

木材の切断、草刈等に使用する丸鋸や帯鋸には、長寿命化を目的とした「耐摩耗性」の向上が要求される。このような刃物に使用される従来の鋼板では通常、焼入後に、低めの温度で焼戻しを行って硬さレベルを高く維持することにより、耐摩耗性を確保している。より高硬度が得られるように、炭素含有量を高めた鋼を使用することもある。鋼材の硬さと耐摩耗性は密接な関係にあり、マトリクスの硬さを高めることは耐摩耗性の向上に繋がることから、従来、鋼材に耐摩耗性を付与する手法としては硬さを増大させる手法を採用することが一般的である。

【0003】

一方、刃物は安全上、使用中に折損しないことが重要である。刃物の折損を防止するためには刃物に用いる鋼材の「靱性」を十分に確保する必要がある。一般に鋼材の靱性を向上させるには、調質硬さを低く抑えることが有効であるとされる。しかしながら、調質硬さを抑制すると、同時に耐摩耗性も低下してしまうのが通常である。すなわち、鋼材において「耐摩耗性」と「靱性」はトレードオフの関係にある。

これまで、靱性をできるだけ阻害せずに耐摩耗性を改善する試みが種々なされてきた（特許文献 1 ~ 6）。

【0004】

【特許文献 1】特許第 3962143 号公報

【特許文献 2】特公平 5 - 37202 号公報

【特許文献 3】特開 2003 - 27181 号公報

【特許文献 4】特開 2003 - 328078 号公報

【特許文献 5】特開 2005 - 146321 号公報

【特許文献 6】特許第 3946369 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来検討されてきた鋼材の耐摩耗性改善手法は、「硬さ」を増大させる手段を用いて「耐摩耗性」を付与し、結晶粒の微細化などによって「靱性」の低下を抑制するという思想に基づくものが主流であった。そのような中で、本出願人は Ti、Nb、Zr、V、W 等の硬質な炭化物をマトリクス中に分散させることによりステンレス鋼の耐摩耗性を向上させる技術を開示した（特許文献 6）。

【0006】

相手摩擦面の表面粗さや摩擦面に介在する異物によって材料表面が削り取られる摩耗形態をアプレシブ摩耗という。アプレシブ摩耗は、摩耗相手材の表面粗さが大きくかつ硬質である場合や、部材よりも硬い異物が摩擦面に介在する場合に生じる。丸鋸や帯鋸等の刃物部材の摩耗ではこの種の摩耗形態が主体となる。摩耗相手材の種類や使用環境によっては、摩擦面にアルミナや炭化ケイ素のような部材硬さに比べて遥かに硬質の異物が介在す

10

20

30

40

50

ることがある。アブレシブ摩耗に対する抵抗力を付与するためには、刃物部材を構成する鋼材のマトリクス中に粒子径数  $\mu\text{m}$  の Nb や Ti の炭化物を一定量以上分散させることが有効である。Nb や Ti の炭化物の硬さは 2000HV 以上に相当し、これはアルミナや炭化ケイ素とほぼ同等レベルの硬度である。鋼材マトリクス中に分散させた硬質粒子が摩耗に対する抵抗力として働くことで、アブレシブ摩耗による鋼材の摩耗量が大幅に低減される。硬質炭化物を利用すれば、マトリクスを耐摩耗性向上のために必要以上に硬質化させなくてもよいので、靱性向上にも有利となる。特許文献 6 ではこの手法を利用してステンレス鋼の耐摩耗性を改善している。

【0007】

しかしながら、通常、丸鋸や帯鋸等の刃物用途において高価なステンレス鋼を採用することは難しい。一般的な中・高炭素鋼の場合は、単に硬質な炭化物を分散させるだけでは、耐摩耗性と靱性を高いレベルで両立させることは困難であり、現にそのような技術は未だ確立されていない。

【0008】

今後、鋸刃等の刃物において、刃の運動速度向上や被切断材の高硬度化に対応していくためには、耐摩耗性と靱性を高レベルで両立させた安価な鋼材の出現が望まれる。本発明はそのような鋼材を提供しようというものである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

発明者らはこれまでに、使用中に破損した刃物部材および耐久試験後の鋼材を多数取り寄せ、破損部についてミクロ的な観点から詳細に調査してきた。その結果、中・高炭素鋼からなる刃物部材を破損に導く主な因子は、「炭化物」と「不完全焼入れ部」であることを突き止めた。炭化物は密度が高くなると破壊の起点および亀裂伝播の経路となるため靱性を低下させる。また不完全焼入れ部も同様に靱性を低下させ、加えて耐摩耗性を低下させる。すなわち、ステンレス鋼ではない中・高炭素鋼の靱性を高く維持するためには、炭化物の存在形態について注意を払うとともに、不完全焼入れ部をできるだけ形成させないことが極めて重要であることが明らかになった。

【0010】

一方で、硬質な炭化物は上述のように耐摩耗性を向上させる作用を呈する。発明者らは詳細な検討の結果、成分組成と、硬質な炭化物の分布形態を厳密にコントロールすることにより、中・炭素鋼において「耐摩耗性」と「靱性」を高いレベルで安定して改善することが可能であることを見出し、本発明を完成するに至った。

【0011】

すなわち本発明では、質量%で、C : 0.6 ~ 1.0%、Si : 0.5% 以下、Mn : 0.1 ~ 1.5%、P : 0.02% 以下、S : 0.02% 以下、Cr : 0.1 ~ 1.5%、Nb : 0.1 ~ 0.5% であり、必要に応じてさらに Mo : 0.5% 以下、V : 0.5% 以下、Ni : 2% 以下、Ti : 0.25% 以下、B : 0.005% 以下の 1 種以上を含有し、残部 Fe および不可避の不純物からなり、B 含有量に応じて下記 (1) 式または (2) 式で定義される理想臨界直径  $D_1$  が 50 以上である化学組成を有し、Nb、Ti の 1 種以上を含有する粒子径  $2\mu\text{m}$  以上の炭化物が鋼材断面観察において  $300 \sim 1000$  個 /  $\text{mm}^2$  の密度でマトリクス中に存在する耐摩耗性に優れた焼入れ焼戻し部品 (例えば鋸刃) 用鋼材が提供される。

B 含有量 0.0005% 未満 (0% を含む) の場合 :  $D_1 = 6.0 (C)^{1/2} \times (1 + 0.64 Si) \times (1 + 4.1 Mn) \times (1 + 2.83 P) \times (1 - 0.62 S) \times (1 + 2.33 Cr) \times (1 + 1.52 Ni) \times (1 + 3.14 Mo) \dots (1)$

B 含有量 0.0005% 以上の場合 :  $D_1 = 6.0 (C)^{1/2} \times (1 + 0.64 Si) \times (1 + 4.1 Mn) \times (1 + 2.83 P) \times (1 - 0.62 S) \times (1 + 2.33 Cr) \times (1 + 1.52 Ni) \times (1 + 3.14 Mo) \times \{1 + 1.5 \times (0.9 - C)\} \dots (2)$

ただし、(1) 式または (2) 式右辺の元素記号の箇所には質量% で表された当該元素の含有量値が代入され、含有しない元素については 0 (ゼロ) が代入される。

10

20

30

40

50

## 【0012】

また、このような焼入れ焼戻し部品用鋼材の製造方法として、上記の化学組成に成分調整された鋼を鑄造したのち放冷することによりNb、Tiの1種以上を含有する粗大炭化物を析出させる工程、

前記粗大炭化物が存在する鋼を1200～1350 に加熱保持することによりNb、Tiの1種以上を含有する粒子径2μm以上の炭化物の密度を300～1000個/mm<sup>2</sup>に調整する工程、

を有する製造方法が提供される。

## 【0013】

前記炭化物の密度を300～1000個/mm<sup>2</sup>に調整する工程を経た後、加熱抽出温度1100～1300、仕上圧延温度800～900、巻取温度750以下の条件で熱間圧延し、600以上Ac<sub>1</sub>点未満の温度域に加熱保持する工程に供することができる。さらに必要に応じて、冷間圧延し、600以上Ac<sub>1</sub>点未満の温度域に加熱保持する工程に供することができる。

## 【発明の効果】

## 【0014】

本発明によれば、「耐摩耗性」と「靱性」を高いレベルで両立させた鋼材を、特段のコスト増を伴うことなく提供することが可能となった。この鋼材はアプレシブ摩耗に対する耐久性が高く、焼入れ性も良好であることから鋸刃等の刃物に好適である。油焼入れの他、ガス焼入れにも対応可能であり、部品メーカーでの製造条件の選択自由度も広い。本発明材料を刃物用途に適用すれば、安全性が向上するとともに、鋸刃の高速度化、被切断材の高硬度化にも対応しうる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0015】

## 〔化学組成〕

本発明の鋼材の化学組成について説明する。以下、鋼の成分元素に関する「%」は特に断らない限り「質量%」を意味する。

Cは、調質硬さや強度、耐摩耗性を確保するために重要な元素であり、本発明では0.6%以上、好ましくは0.6%を超える含有量が必要となる。ただしC含有量が多くなると焼入れ焼戻し後に粗大な未溶解炭化物が多くなり、それが破壊の起点および亀裂伝播経路となって靱性・延性を阻害する。種々検討の結果、良好な靱性を安定して得るためにC含有量は1.0%以下に制限される。

## 【0016】

Siは、溶鋼の脱酸に有効であり、また焼戻し軟化抵抗を高める作用がある。それらの作用を十分に得るためには0.1%以上のSi含有量を確保することがより効果的である。ただし過剰のSi含有は熱延板、冷延板を硬質にし、製造性を阻害する要因となる。このためSi含有量は0.5%以下の範囲とする。

## 【0017】

Mnは、焼入れ性を向上させる元素であり、その作用を得るために0.1%以上の含有量を確保する。ただし過剰のMn含有は靱性を著しく低下させる場合があるので、Mn含有量は1.5%以下に制限される。

## 【0018】

Pは、焼入れ時にオーステナイト粒界に偏析して粒界強度を低下させ、疲労特性や靱性を低下させる要因となる。検討の結果、P含有量は0.02%まで許容できる。

## 【0019】

Sは、鋼中で衝撃破壊や疲労破壊の起点となるMnSを形成し、疲労特性や靱性を低下させる要因となる。検討の結果、S含有量は0.02%まで許容できる。

## 【0020】

Crは、Mnと同様に焼入れ性の向上に有効であり、0.1%以上の含有量を確保する。ただし多量のCrを添加すると未溶解炭化物の生成量が増大し、靱性が著しく低下する

10

20

30

40

50

ことがあるので、Cr含有量は1.5%以下に制限される。

【0021】

Nbは、鑄造後の鋼中に非常に硬質なNb含有炭化物を形成し、耐摩耗性の向上に寄与する。また、鑄造後に再固溶させたNbは焼入れ時の結晶粒を微細化させ、靱性の向上に寄与する。これらの作用を十分に引き出すためには、0.1%以上のNb含有量を確保する必要がある、0.15%以上とすることがより好ましい。一方、多量のNb添加は、Nb含有炭化物を過剰に生成させ、それらが破壊の起点および亀裂伝播経路となり、靱性低下を招く。また、発明者らの検討によれば、Nb添加によるアプレシブ摩耗に対する耐久性向上効果はNb含有量0.5%程度で飽和する傾向にある。したがってNbは0.5%以下の範囲で含有させる。

10

【0022】

MoおよびVは、いずれも靱性の向上に有効な元素であり、必要に応じて添加することができる。Moの場合は0.1%以上の含有量を確保することがより効果的である。Vの場合も0.1%以上の含有量を確保することがより効果的である。ただしMo、Vは高価な元素であり過剰添加はコスト増を招く。Mo、Vの1種または2種を添加する場合は、Mo、Vとも0.5%以下の含有量範囲とする。

【0023】

Niは、焼入れ性の向上に有効であり、必要に応じて添加することができる。その場合、0.1%以上のNi含有量を確保することがより効果的である。ただしNiの過剰添加は経済性を損ねる要因となるので、Niを添加する場合は2%以下の範囲で行う。

20

【0024】

Tiは、Nbと同様、鑄造後の鋼中に非常に硬質なTi含有炭化物を形成し、耐摩耗性の向上に寄与するとともに、鑄造後に再固溶させたTiは焼入れ時の結晶粒を微細化させ、靱性の向上に寄与する。またTiはNとの結合力が強いので、Bを添加した場合にBNの生成を防止し、Bの焼入れ性向上作用を引き出す上で有利となる。これらの効果を十分に得るためには0.01%以上のTi含有量を確保することがより効果的である。ただし過剰のTi含有は靱性を低下させる要因となる。Tiを添加する場合は0.25%以下の範囲で行う。

【0025】

Bは、焼入れ性の向上に有効な元素であり、必要に応じて添加することができる。焼入れ性向上作用を十分に発揮させるためには0.0005%以上のB含有量を確保することがより効果的である。ただし、その作用は概ね0.005%で飽和するので、Bを添加する場合は0.005%以下の範囲で行う。

30

【0026】

理想臨界直径 $D_c$ は、無限大の冷却速度で焼入れを行ったと仮定したときに完全に焼きが入る棒の直径(mm)を示す指標であり、合金成分含有量の関数として、前記(1)式または(2)式で表すことができる。焼入れ性はB含有の有無によって大きく左右されるので、B含有量に応じて(1)式、(2)式のいずれかを使い分ける。 $D_c$ 値が大きいほど焼入れ性が良好であることを意味する。発明者らは検討の結果、(1)式または(2)式で表される $D_c$ 値が50より小さくなると、鋸刃等の刃物部材を製造する工場で行われている焼入れ工程において、比較的冷却速度の小さい焼入れ処理(例えばガス焼入れなど)を適用した場合には、不完全焼入れ組織が生じやすいことを見出した。そして、不完全焼入れ組織は、炭化物が過剰に存在する場合と同様、割れ発生の起点および亀裂伝播経路として機能することを突き止めた。また、不完全焼入れ部は耐摩耗性にも劣る。したがって、耐摩耗性と靱性を安定して顕著に改善するには、不完全焼入れ部が生じないよう、十分な焼入れ性が確保できる成分組成に調整することが重要である。このため、本発明では(1)式または(2)式で定義される $D_c$ 値が50以上となるように成分組成を厳しく規定している。 $D_c$ 値は55以上であることがより好ましい。

40

【0027】

〔金属組織〕

50

上述のように、本発明ではアブレシブな摩耗に対する耐摩耗性を顕著に向上させるためにNb、Tiの1種以上を含有する硬質炭化物を利用する。ただし、靱性を確保するために、その分散形態に配慮する必要がある。詳細な検討の結果、焼入れ前の鋼材において、Nb、Tiの1種以上を含有する粒子径 $2\mu\text{m}$ 以上の炭化物が $300\sim 1000$ 個/ $\text{mm}^2$ の密度でマトリクス中に存在する金属組織としたときに、焼入れ後において、耐摩耗性が顕著に向上し、かつ靱性を損なう弊害も回避されることがわかった。なお、上記の化学組成に調整された鋼であれば、通常の焼入れ焼戻し処理後においてもNb、Tiの1種以上を含有する粒子径 $2\mu\text{m}$ 以上の炭化物の分布状態は、焼入れ前の状態がほぼ維持される。

#### 【0028】

ここで、Nb、Tiの1種以上を含有する炭化物は、NbC、TiC、(Nb, Ti)Cなどを主成分とするものであり、鋼中に含有される析出粒子が「Nb、Tiの1種以上を含有する炭化物」に該当するかどうかは、EDX等による微視的分析によって確かめることができる。個々の粒子の粒子径は、鋼材断面に観察される粒子の円相当径が採用される。すなわち、粒子の面積から、同じ面積を有する真円の直径を算出し、この直径を当該粒子の粒子径とする。鋼材中に観察される炭化物の最大粒子径は $30\mu\text{m}$ 以下に調整されていることが望ましい。粒子径 $2\mu\text{m}$ 以上の炭化物が $300$ 個/ $\text{mm}^2$ 未満であると耐摩耗性向上効果が不十分となりやすい。 $400$ 個/ $\text{mm}^2$ 以上であることがより好ましい。ただし、 $1000$ 個/ $\text{mm}^2$ を超えると靱性低下が生じやすい。

#### 【0029】

図1に、炭化物のSEM写真およびEDX分析例を示す。図1(a)はNb含有量が約0.05質量%と少ない鋼板(後述表2の比較例No.1に相当する材料)、図1(b)はNb含有量が約0.2質量%、Ti含有量が約0.02質量%の鋼板(後述表2の本発明例No.17に相当する材料)である。Nb含有量が多い(b)の材料では(a)の材料より析出粒子の密度が増大している。図1(c)は(b)の材料を高倍率で観察したものである。図1(c)の矢印部分をEDXにより分析したところ、析出粒子はNbおよびTiを含有する炭化物であることがわかる(図1(d))。

#### 【0030】

##### 〔製造方法〕

上記のような金属組織を有する鋼材を得るために、まず、鑄造後の冷却過程を利用してNb、Tiの1種以上を含有する粗大炭化物を析出させる。具体的には、Nb、Tiの1種以上を含有する炭化物が成長しやすい $900\sim 1500$ の温度領域の滞在時間が概ね $30\text{min}$ 以上となるような冷却パターンとすることが効果的である。後述実施例のものはいずれもこの冷却パターンを満たしている。このような冷却パターンは、鑄造後に鑄塊または鑄片を放冷する手法によって実現できる。放冷とは鑄塊または鑄片を強制的に冷却することなく、自然冷却することをいう。「粗大炭化物」は、粒子径が概ね $2\mu\text{m}$ 以上の炭化物をいう。

#### 【0031】

次いで、前記粗大炭化物が存在する鋼を $1200\sim 1350$ に加熱保持することによりNb、Tiの1種以上を含有する粒子径 $2\mu\text{m}$ 以上の炭化物の密度を $300\sim 1000$ 個/ $\text{mm}^2$ に調整する。この温度域に加熱すると、Nb、Tiの1種以上を含有する粗大炭化物の再固溶が進行し、粒子径 $2\mu\text{m}$ 以上の炭化物の密度を $300\sim 1000$ 個/ $\text{mm}^2$ に調整することが可能である。その加熱保持時間は、保持温度や加熱に供する鋼材のサイズにもよるが、通常 $0.5\sim 12\text{h}$ の範囲で最適保持時間を見出すことができる。実際には、使用する生産設備に対応した予備実験によって保持温度、保持時間を設定すればよい。ステンレス鋼ではない中・高炭素鋼において、 $1200\sim 1350$ という高温の熱処理を製品最終段階で施すことには無理がある。したがって、本発明では鑄造を含めた初期の製造段階においてNb、Tiの1種以上を含有する粒子径 $2\mu\text{m}$ 以上の炭化物の分布密度を調整する。この炭化物の分布密度は、通常の熱間圧延、熱延板焼鈍、冷間圧延、仕上げ焼鈍、焼入れ焼戻しの各工程を経てもほぼ維持される。

## 【 0 0 3 2 】

熱間圧延以降の工程については、従来一般的な製造方法が適用できる。例えば、熱間圧延は、加熱抽出温度 1 1 0 0 ~ 1 3 0 0 、仕上圧延温度 8 0 0 ~ 9 0 0 、巻取温度 7 5 0 以下の条件が採用できる。熱延板焼鈍は、6 0 0 以上  $A c_1$  点未満の温度域に例えば 1 0 ~ 5 0 h 加熱保持する条件が採用できる。さらに必要に応じて、冷間圧延し、6 0 0 以上  $A c_1$  点未満の温度域に例えば 1 0 ~ 5 0 h 加熱保持する仕上げ焼鈍に供すればよい。このようにして焼入れ焼戻し処理に供するための素材鋼材を得ることができる。

## 【 実施例 1 】

## 【 0 0 3 3 】

表 1 に示す化学組成の鋼を溶製し、鑄造後の冷却過程を放冷として鑄片を製造し、得られた鑄片を 1 2 5 0 × 1 h の加熱に供した。その後、仕上圧延温度 8 5 0 、巻取温度 5 5 0 の条件で熱間圧延を行い、板厚 3 . 5 mm の熱延鋼板を得た。次いで 6 9 0 × 1 5 h の焼鈍を行い、冷間圧延にて板厚 1 . 5 mm とし、6 7 0 × 1 5 h の仕上げ焼鈍を施すことにより、焼入れ焼戻し処理に供するための素材鋼板 ( 板厚 1 . 5 mm ) を得た。

10

## 【 0 0 3 4 】



【表 1】

区分	鋼	化学組成 (質量%)											焼戻し温度T (°C)					
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Nb	B	Mo	V	Ni	D <sub>I</sub> 値	42HRC	46HRC	50HRC	
比較鋼	A	0.81	0.19	1.16	0.012	0.004	0.16	0.02	0.05	0.003	-	-	-	-	56.0	500	460	410
	B	0.79	0.23	1.13	0.014	0.003	0.15	0.03	0.09	0.005	-	-	-	-	56.2	500	460	410
	C	0.80	0.15	1.17	0.015	0.004	0.19	0.12	0.53	0.006	-	-	-	-	58.8	500	460	420
	D	1.08	0.41	1.24	0.017	0.009	0.98	-	0.15	-	-	-	-	-	163.9	530	500	450
	E	0.51	0.18	1.12	0.011	0.006	0.21	0.05	0.16	0.006	-	-	-	-	64.8	450	400	370
	F	0.94	0.24	1.62	0.010	0.012	0.15	0.04	0.05	0.004	-	-	-	-	66.4	500	480	430
	G	0.92	0.26	0.24	0.013	0.013	1.58	-	0.09	-	-	-	-	-	64.1	520	480	440
	H	0.80	0.23	0.88	0.014	0.008	0.23	-	0.19	-	-	-	-	-	45.1	500	460	410
	I	0.77	0.48	1.19	0.014	0.014	0.23	0.28	0.10	0.003	-	-	-	-	76.5	500	470	420
	発明対象鋼	J	0.83	0.20	1.44	0.013	0.019	0.15	-	0.32	-	-	-	-	-	58.9	510	460
K		0.81	0.20	0.89	0.013	0.012	0.49	0.04	0.17	0.003	-	-	-	0.52	126.8	500	470	420
L		0.69	0.19	0.71	0.015	0.017	0.69	-	0.48	-	-	0.22	-	-	99.4	480	460	420
M		0.79	0.18	0.50	0.018	0.003	0.99	-	0.24	-	-	-	0.24	-	62.9	500	480	430
N		0.82	0.34	1.15	0.013	0.009	0.15	0.02	0.22	0.003	-	-	-	-	58.9	500	460	410
O		0.64	0.44	0.42	0.011	0.006	1.41	0.14	0.16	0.003	-	-	-	-	102.5	450	460	410
P		0.97	0.14	0.30	0.013	0.008	0.46	-	0.17	-	-	-	-	1.82	115.6	520	460	410

下線: 本発明規定範囲外

【0035】

焼入れ焼戻し処理は以下のいずれかの方法を選択して行った。焼戻し温度を調整するこ

10

20

30

40

50

とにより、調質硬さが42HRC、46HRC、50HRCに相当する各調質材を得た。鋼種ごとの焼戻し温度T( )は表1中に記載してある。

〔焼入れ焼戻し処理a〕

820 x 15min 60 油焼入れ T x 30min 焼戻し

この処理により調質硬さ42HRC、46HRC、50HRCの各調質材を作製

〔焼入れ焼戻し処理b〕

820 x 15min ガス焼入れ T x 30min 焼戻し

この処理により調質硬さ50HRCの調質材を作製

【0036】

〔炭化物分布状態の調査〕

焼入れ処理に供する前の素材鋼板について、圧延方向および板厚方向に平行な断面(L断面)を分析走査型電子顕微鏡により観察し、観察面積 $61 \times 61 \mu\text{m}^2 \times 20$ 視野中に存在する「Nb、Tiの1種以上を含有する粒子径 $2 \mu\text{m}$ 以上の炭化物」の数をカウントし、その存在密度を算出した。粒子径は前述の円相当径であり、粒子径 $2 \mu\text{m}$ 以上の粒子を画像処理によってピックアップした。

【0037】

〔耐摩耗性試験〕

焼入れ焼戻し後の試料から切り出した直径5mmの円板(酸化スケールを研磨除去したもの)を試験片とし、ピンオンディスク型摩耗試験機を用いて試験を行った。試験片の円板を試料ホルダに固定して、回転する#400エメリー研磨紙(炭化ケイ素粉末を塗布した研磨紙)に試験片表面を試験荷重 $F = 30\text{N}$ で押し付けながら、摩擦速度 $0.66\text{m/s}$ 、摩擦距離 $L = 200\text{m}$ の条件で摩耗試験を行った。試験前後の試料板厚差から摩耗により消失した材料の体積を算出し、これを摩耗減量 $W(\text{mm}^3)$ とした。そして、下記(3)式により比摩耗量 $C(\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m})$ を求めた。

比摩耗量 $C = \text{摩耗減量 } W / (\text{試験荷重 } F \times \text{摩擦距離 } L) \dots (3)$

調質硬さ50HRCの材料において、この比摩耗量 $C$ が $1.5 \times 10^{-4}\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ 以下であれば、刃物に使用されている現用鋼と比べ非常に優れた耐摩耗性を有すると判断される。

【0038】

〔衝撃試験〕

焼入れ焼戻し後の試料表面を研磨した板厚1.35mmの板材から、圧延方向を長手方向とする2mmVノッチ衝撃試験片(ノッチ先端半径は $0.25\text{mm}$ )を作製した。この試験片を用いて室温( $25 \pm 2$ )でのシャルピー衝撃試験を行った。

調質硬さ50HRCの材料において、この試験における衝撃値が $10\text{J}/\text{cm}^2$ 以上であれば、安全性の観点から十分な靱性を有すると判断される。

【0039】

〔焼入れ焼戻し組織の観察〕

焼入れ焼戻し処理を終えた試料について組織観察を行い、不完全焼入れ部(マトリクスがマルテンサイト相以外の相である部分)の面積率を測定した。

【0040】

これらの結果を表2に示す。調質硬さ50HRCの材料において、上記の比摩耗量 $C$ が $1.5 \times 10^{-4}\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$ 以下、かつ上記の衝撃値が $10\text{J}/\text{cm}^2$ 以上である材料を、「耐摩耗性」と「靱性」が高レベル両立できた材料と判定し、評価(合格)と表示した。それ以外の材料を評価×(不合格)と表示した。

【0041】

10

20

30

40

【表 2】

表2

区分	No.	鋼	D <sub>1</sub> 値	2 μm以上の炭化物 (個/mm <sup>2</sup> )	焼入れ 焼戻し 処理	不完全 焼入 れ部 (vol.%)	比摩耗量 (×10 <sup>-4</sup> mm <sup>3</sup> /N・m)			衝撃値 (J/cm <sup>2</sup> )			評価
							42 HRC	46 HRC	50 HRC	42 HRC	46 HRC	50 HRC	
比較例	1	A	56.0	164	a	0	2.27	1.92	1.63	20.1	17.1	16.2	×
	2	B	56.2	270	a	0	2.22	1.91	1.72	18.1	15.3	14.2	×
	3	C	58.8	1437	a	0	1.02	0.97	0.88	13.4	9.7	8.1	×
	4	D	163.9	411	a	0	1.74	1.55	1.3	12	9.9	8.2	×
	5	E	64.8	303	a	0	2.94	2.78	2.55	30.1	26.1	22.3	×
	6	F	66.4	257	a	0	2.22	1.93	1.7	13.9	12.4	9.6	×
	7	G	64.1	210	a	0	2.03	1.9	1.79	14	12.3	8.9	×
	8	H	45.1	386	a	0	1.28	1.16	0.97	20.3	17.2	13.4	○
	9	H	45.1	386	b	1.2	-	-	1.88	-	-	9.1	×
	10	I	76.5	1007	a	0	1.08	0.91	0.85	13.2	9.5	6.9	×
本発明例	11	J	58.9	674	a	0	1.37	1.23	1.08	18.6	15.2	13.8	○
	12	J	58.9	674	b	0	-	-	1.15	-	-	13.9	○
	13	K	126.8	474	a	0	1.32	1.19	0.98	20.9	16.1	15.2	○
	14	K	126.8	474	b	0	-	-	1.11	-	-	14.4	○
	15	L	99.4	840	a	0	1.15	1.03	0.87	20.5	15.9	11.1	○
	16	M	62.9	481	a	0	1.19	1.02	0.92	21.4	17.2	13.9	○
	17	N	58.9	516	a	0	1.09	0.94	0.84	19.9	15.9	12.1	○
	18	O	102.5	597	a	0	1.46	1.3	1.12	22.76	18.2	15.2	○
	19	P	115.6	418	a	0	1.12	0.98	0.89	16.1	14.2	11.3	○

下線：本発明規定範囲外

## 【0042】

表2からわかるように、本発明例のものは非常に硬質なNb、Tiの1種以上を含有する粒子径2 μm以上の炭化物が適正な密度で分布していることにより、「耐摩耗性」と「韌性」が高レベルで両立できた。

## 【0043】

これに対し、比較例であるNo.1および2はNb含有量が不足する鋼を用いたものであり、耐摩耗性および韌性がともに劣った。No.3はNb含有量が多すぎる鋼を用いたものであり、耐摩耗性は良好であるが、硬質炭化物の析出量が多いため韌性に劣った。No.4はC含有量が多すぎる鋼を用いたものであり、焼入れ焼戻し処理後に未溶解炭化物が多く存在したことにより、それらが破壊の起点および亀裂伝播経路となって韌性が低下した。No.5はC含有量が不足する鋼を用いたものであり、韌性は良好であるが、耐摩耗性に劣った。No.6および7はそれぞれMnおよびCr含有量が多すぎる鋼を用いたものであり、いずれも焼入れ焼戻し処理後に未溶解炭化物が多く存在したことにより韌性が低下した。No.8および9はD<sub>1</sub>値が本発明規定範囲を外れて低い鋼を使用したものであり、これらは同じ素材鋼板に対して条件の異なる焼入れ焼戻し処理を施したものである。No.8では油焼入れにより耐摩耗性と韌性の両立が可能であったが、No.9ではガス焼入れにより耐摩耗性、韌性とも劣る結果となった。したがって、D<sub>1</sub>値が本発明規定範囲を下回る鋼では「耐摩耗性」と「韌性」を安定して高レベルで両立させることが難しい。No.10はTi含有量が多すぎる鋼を用いたものであり、Ti含有炭化物が多く存在したことにより、それらが破壊の起点および亀裂伝播経路となって韌性を低下させた。

## 【実施例 2】

## 【0044】

表 1 に示す鋼 C、J、L を用いて、鋳片の加熱処理（固溶化処理）の温度および保持時間を種々変動させたこと以外、実施例 1 と同様の方法で素材鋼板を作製し、実施例 1 と同様の特性調査を行った。ただし焼入れ焼戻しは、前述の「焼入れ焼戻し処理 a」によって行い、調質硬さ 50 HRC の材料のみを作製した。結果を表 3 に示す。

## 【0045】

## 【表 3】

表3

区分	No.	鋼	D <sub>I</sub> 値	固溶化処理		2 μm以上の炭化物 (個/mm <sup>2</sup> )	焼入れ 焼戻し 処理	比摩耗量 (×10 <sup>-4</sup> mm <sup>3</sup> /N・m)	衝撃値 (J/cm <sup>2</sup> )	評価
				温度 (°C)	時間 (h)			50 HRC	50 HRC	
比較例	3	C	58.8	1250	1	1437	a	0.88	8.1	×
	21	C	58.8	1250	3	1329	a	0.98	8.8	×
	22	C	58.8	1300	1	899	a	0.96	9.3	×
	23	L	99.4	1180	8	1049	a	0.87	9.2	×
本発明例	24	L	99.4	1250	3	840	a	0.87	11.1	○
	25	L	99.4	1300	1	504	a	0.91	16.2	○
	26	L	99.4	1300	3	462	a	1.02	17.4	○
比較例	27	L	99.4	1360	1	42	a	1.83	17.7	×
本発明例	28	J	58.9	1250	1	673	a	1.08	13.8	○
	29	J	58.9	1300	1	404	a	1.12	15.9	○

下線：本発明規定範囲外

## 【0046】

表 3 からわかるように、本発明例のものは「耐摩耗性」と「靱性」が高レベル両立できた。これに対し No. 3、21、22 は Nb 含有量が多すぎる鋼を用いたものであり、耐摩耗性は良好であるが、鋳片の加熱処理（固溶化処理）の条件を変動させても靱性を向上させることができなかつた。なお No. 3 は表 2 記載のデータを再掲したものである。No. 23 は鋳片の加熱処理（固溶化処理）の温度が低すぎたため硬質な炭化物の存在量が多くなりすぎ、靱性に劣った。No. 27 は鋳片の加熱処理（固溶化処理）の温度が高すぎたものであり、硬質な炭化物の存在量が少なくなったことにより耐摩耗性に劣った。

## 【0047】

図 2 に、上記各例で得られた材料（No. 8 を除く）について、衝撃値と比摩耗量の関係をプロットしたグラフを示す。本発明例のものは衝撃値が高くなっても比摩耗量の増大が抑制されていること、すなわち「耐摩耗性」と「靱性」が高レベル両立できていることがわかる。

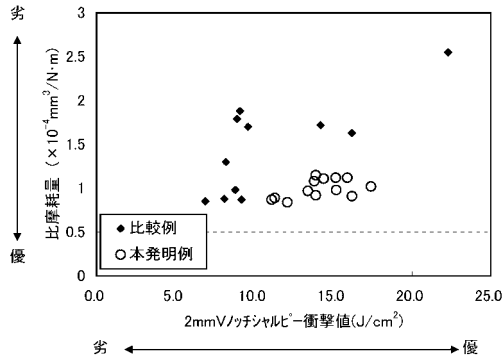
## 【図面の簡単な説明】

## 【0048】

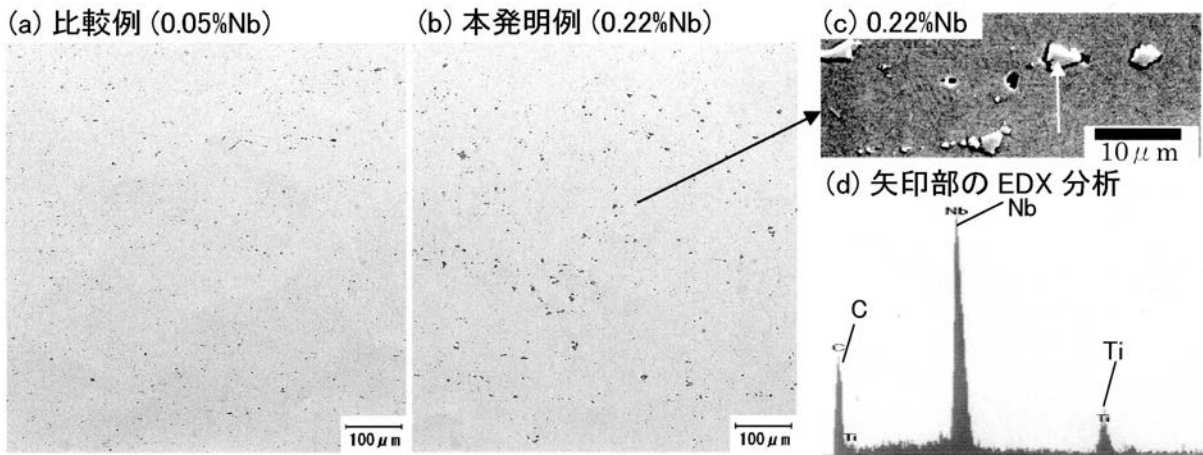
【図 1】炭化物の SEM 写真および EDX 分析例を示した図。

【図 2】上記各例で得られた材料（No. 8 を除く）について、衝撃値と比摩耗量の関係をプロットしたグラフ。

【図 2】



【図 1】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
C 2 1 D 9/46 S

(72)発明者 洲 崎 恒年  
広島県呉市昭和町 1 1 番 1 号 日新製鋼株式会社内

審査官 鈴木 毅

(56)参考文献 特開平 1 1 - 0 8 0 8 9 7 ( J P , A )  
特開平 0 6 - 2 9 9 2 4 0 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 2 2 9 0 8 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 5 - 3 3 6 5 6 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 9 - 1 6 1 8 0 9 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0