

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6319443号  
(P6319443)

(45) 発行日 平成30年5月9日(2018.5.9)

(24) 登録日 平成30年4月13日(2018.4.13)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>C 2 2 C</b>	<b>38/00</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	38/00	3 O 1 W
<b>C 2 2 C</b>	<b>38/58</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	38/00	3 O 2 A
<b>C 2 1 D</b>	<b>9/46</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	38/58	
			C 2 1 D	9/46	T
			C 2 1 D	9/46	Z

請求項の数 7 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2016-534503 (P2016-534503)	(73) 特許権者	000006655 新日鐵住金株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(86) (22) 出願日	平成27年7月17日(2015.7.17)	(74) 代理人	100090273 弁理士 園分 孝悦
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/070566	(72) 発明者	林 宏太郎 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内
(87) 国際公開番号	W02016/010144	審査官	佐藤 陽一
(87) 国際公開日	平成28年1月21日(2016.1.21)	(56) 参考文献	国際公開第2013/047821 (W O, A1) 特開2012-237054 (JP, A )
審査請求日	平成28年12月16日(2016.12.16)		最終頁に続く
(31) 優先権主張番号	特願2014-147934 (P2014-147934)		
(32) 優先日	平成26年7月18日(2014.7.18)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2014-147937 (P2014-147937)		
(32) 優先日	平成26年7月18日(2014.7.18)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

(54) 【発明の名称】 鋼材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 . 0 5 0 % ~ 0 . 3 5 %、  
 S i : 0 . 5 0 % ~ 3 . 0 %、  
 M n : 3 . 0 % を超えて 7 . 5 % 以下、  
 P : 0 . 0 5 % 以下、  
 S : 0 . 0 1 % 以下、  
 s o l . A 1 : 0 . 0 0 1 % ~ 3 . 0 %、  
 N : 0 . 0 1 % 以下、  
 V : 0 % ~ 1 . 0 %、  
 T i : 0 % ~ 1 . 0 %、  
 N b : 0 % ~ 1 . 0 %、  
 C r : 0 % ~ 1 . 0 %、  
 M o : 0 % ~ 1 . 0 %、  
 C u : 0 % ~ 1 . 0 %、  
 N i : 0 % ~ 1 . 0 %、  
 C a : 0 % ~ 0 . 0 1 %、  
 M g : 0 % ~ 0 . 0 1 %、  
 R E M : 0 % ~ 0 . 0 1 %、

10

20

Zr : 0 % ~ 0 . 0 1 %、  
 B : 0 % ~ 0 . 0 1 %、  
 Bi : 0 % ~ 0 . 0 1 %、かつ  
 残部 : Fe および不純物、  
 で表わされる化学組成を有し、  
 脱炭フェライト層の厚さが 5 μ m 以下であり、残留オーステナイトの体積率が 1 0 % ~  
 4 0 % であって、セメンタイトの個数密度が 2 個 / μ m<sup>2</sup> 未満である金属組織を有し、  
 引張強度が 9 8 0 M P a 以上であることを特徴とする鋼材。

## 【請求項 2】

前記化学組成において、

V : 0 . 0 5 % ~ 1 . 0 %

が満たされることを特徴とする請求項 1 に記載の鋼材。

10

## 【請求項 3】

前記化学組成において、

Ti : 0 . 0 0 3 % ~ 1 . 0 %、

Nb : 0 . 0 0 3 % ~ 1 . 0 %、

Cr : 0 . 0 1 % ~ 1 . 0 %、

Mo : 0 . 0 1 % ~ 1 . 0 %、

Cu : 0 . 0 1 % ~ 1 . 0 %、もしくは

Ni : 0 . 0 1 % ~ 1 . 0 %、

又はこれらの任意の組み合わせが満たされることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の鋼材。

20

## 【請求項 4】

前記化学組成において、

Ca : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

Mg : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

REM : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

Zr : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

B : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、もしくは

Bi : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

又はこれらの任意の組み合わせが満たされることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の鋼材。

30

## 【請求項 5】

前記残留オーステナイト中の平均 C 濃度が、質量%で、0 . 6 0 % 以下であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の鋼材。

## 【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の鋼材の製造方法であって、

質量%で、

C : 0 . 0 5 0 % ~ 0 . 3 5 %、

Si : 0 . 5 0 % ~ 3 . 0 %、

Mn : 3 . 0 % を超えて 7 . 5 % 以下、

P : 0 . 0 5 % 以下、

S : 0 . 0 1 % 以下、

sol . Al : 0 . 0 0 1 % ~ 3 . 0 %、

N : 0 . 0 1 % 以下、

V : 0 % ~ 1 . 0 %、

Ti : 0 % ~ 1 . 0 %、

Nb : 0 % ~ 1 . 0 %、

Cr : 0 % ~ 1 . 0 %、

Mo : 0 % ~ 1 . 0 %、

40

50

C u : 0 % ~ 1 . 0 % 、  
 N i : 0 % ~ 1 . 0 % 、  
 C a : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 M g : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 R E M : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 Z r : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 B : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 B i : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、 かつ  
 残部 : F e および不純物、

で表される化学組成を有し、ベイナイトおよびマルテンサイトの体積率が合計で 9 0 %  
 以上であり、かつ、ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比の平均値が 1 . 5  
 以上である金属組織を有する鋼素材を、5 0 0 から 6 7 0 までの間の平均加熱速度が 1  
 / s ~ 5 / s となるように 6 7 0 以上の温度まで加熱する工程と、  
 前記加熱した後に、6 7 0 ~ 7 8 0 の温度域で 6 0 s ~ 1 2 0 0 s 保持する工程と

10

、  
 前記保持した後に、前記温度域から 1 5 0 までの間の平均冷却速度が 5 / s ~ 5 0  
 0 / s となるように 1 5 0 以下の温度まで冷却する工程とを備えることを特徴とする  
 鋼材の製造方法。

#### 【請求項 7】

前記化学組成において、  
 V : 0 . 0 5 % ~ 1 . 0 %  
 が満たされ、

20

前記鋼素材中に含まれる V のうちの 7 0 % 以上が固溶していることを特徴とする請求項  
 6 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、鋼材およびその製造方法に係り、特に、引張強度が 9 8 0 M P a 以上であり、  
 優れた延性と衝撃特性とを有する鋼材およびその製造方法に関する。

#### 【背景技術】

30

#### 【0002】

近年、地球環境を保護する観点から、省エネルギー化に寄与する鋼材の開発が求められ  
 ている。自動車用鋼材、油井管用鋼材および建築構造用鋼材等の分野においては、軽量か  
 つ過酷な使用環境へ適用可能な超高強度鋼材の需要が高まり、その適用範囲が広まってい  
 る。その結果、これらの分野に使用する超高強度鋼材においては、強度特性だけでなく、  
 使用環境における安全性を確保することが重要になっている。具体的には、鋼材の延性を  
 高めることによって、外的な塑性変形に対する許容度を上げることが重要になっている。

#### 【0003】

例えば、自動車が構造体に衝突した場合、その衝撃を車両の対衝突用部材で十分に緩和  
 するためには、鋼材の引張強度が 9 8 0 M P a 以上で、かつ、引張強度 ( T S ) と全伸び  
 ( E L ) との積の値 ( T S × E L ) が 1 6 0 0 0 M P a ・ % 以上となることが望まれる。  
 しかし、引張強度の上昇に伴って延性は著しく低下するため、前記特性を満足し、工業的  
 に量産できる超高強度鋼材はこれまで皆無であった。そこで、超高強度鋼材の延性を改善  
 するために、様々な研究開発がなされ、それを実現する組織制御方法が提案されてきた (   
 特許文献 1 ~ 4 参照 ) 。

40

#### 【0004】

しかしながら、従来の技術では、9 8 0 M P a 以上の引張強度を確保しながら十分な延  
 性および衝撃特性を得ることができない。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

50

## 【 0 0 0 5 】

【特許文献1】特開2004-269920号公報

【特許文献2】特開2010-90475号公報

【特許文献3】特開2003-138345号公報

【特許文献4】特開2014-25091号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 0 6 】

本発明は、980MPa以上の引張強度を有しながら、優れた延性と衝撃特性とを有する鋼材およびその製造方法を提供することを目的とする。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 7 】

本発明者らは、前記課題を解決するために鋭意検討を行った。その結果、以下の知見を得るに至った。

## 【 0 0 0 8 】

鋼素材をフェライトとオーステナイトとの二相域まで加熱すると、表面が脱炭されることにより軟質なフェライト相からなる組織（以下、「脱炭フェライト層」という。）が形成される。そして、脱炭が顕著になると鋼材の表面に脱炭フェライト層が厚く形成される。

## 【 0 0 0 9 】

脱炭フェライト層の厚さが5 $\mu$ m以上になると、粗大なフェライトが生成されるようになり、結果的に、延性および衝撃特性の劣化が生じるおそれがある。

20

## 【 0 0 1 0 】

そこで、高強度な鋼材を製造するために、特にSiおよびMnを通常より積極的に含有させた鋼素材に対して、適切な熱処理を施し、表面における脱炭を抑制するようにした。これによって、従来の技術では製造することができなかった、980MPa以上の引張強度を有しながら、優れた延性と衝撃特性とを有する鋼材を安定して得られることが明らかとなった。

## 【 0 0 1 1 】

本発明は、上記の知見を基礎としてなされたものであり、下記の鋼材およびその製造方法を要旨とする。

30

## 【 0 0 1 2 】

(1)質量%で、

C：0.050%～0.35%、

Si：0.50%～3.0%、

Mn：3.0%を超えて7.5%以下、

P：0.05%以下、

S：0.01%以下、

sol.Al：0.001%～3.0%、

N：0.01%以下、

V：0%～1.0%、

Ti：0%～1.0%、

Nb：0%～1.0%、

Cr：0%～1.0%、

Mo：0%～1.0%、

Cu：0%～1.0%、

Ni：0%～1.0%、

Ca：0%～0.01%、

Mg：0%～0.01%、

REM：0%～0.01%、

40

50

Zr : 0 % ~ 0 . 0 1 %、  
 B : 0 % ~ 0 . 0 1 %、  
 Bi : 0 % ~ 0 . 0 1 %、かつ  
 残部 : Fe および不純物、  
 で表わされる化学組成を有し、  
 脱炭フェライト層の厚さが 5 μ m 以下であり、残留オーステナイトの体積率が 1 0 % ~  
 4 0 % であって、セメンタイトの個数密度が 2 個 / μ m<sup>2</sup> 未満である金属組織を有し、  
 引張強度が 9 8 0 M P a 以上であることを特徴とする鋼材。

## 【 0 0 1 4 】

( 2 ) 前記化学組成において、

V : 0 . 0 5 % ~ 1 . 0 %

が満たされることを特徴とする上記 ( 1 ) に記載の鋼材。

10

## 【 0 0 1 5 】

( 3 ) 前記化学組成において、

Ti : 0 . 0 0 3 % ~ 1 . 0 %、

Nb : 0 . 0 0 3 % ~ 1 . 0 %、

Cr : 0 . 0 1 % ~ 1 . 0 %、

Mo : 0 . 0 1 % ~ 1 . 0 %、

Cu : 0 . 0 1 % ~ 1 . 0 %、もしくは

Ni : 0 . 0 1 % ~ 1 . 0 %、

又はこれらの任意の組み合わせが満たされることを特徴とする上記 ( 1 ) 又は ( 2 ) に  
 記載の鋼材。

20

## 【 0 0 1 6 】

( 4 ) 前記化学組成において、

Ca : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

Mg : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

REM : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

Zr : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

B : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、もしくは

Bi : 0 . 0 0 0 3 % ~ 0 . 0 1 %、

又はこれらの任意の組み合わせが満たされることを特徴とする上記 ( 1 ) から ( 3 ) の  
 いずれかに記載の鋼材。

30

## 【 0 0 1 7 】

( 5 ) 前記残留オーステナイト中の平均 C 濃度が、質量%で、0 . 6 0 % 以下であるこ  
 とを特徴とする上記 ( 1 ) から ( 4 ) のいずれかに記載の鋼材。

## 【 0 0 1 8 】

( 6 ) 上記 ( 1 ) から ( 5 ) のいずれかに記載の鋼材の製造方法であって、  
 質量%で、

C : 0 . 0 5 0 % ~ 0 . 3 5 %、

Si : 0 . 5 0 % ~ 3 . 0 %、

Mn : 3 . 0 % を超えて 7 . 5 % 以下、

P : 0 . 0 5 % 以下、

S : 0 . 0 1 % 以下、

sol . Al : 0 . 0 0 1 % ~ 3 . 0 %、

N : 0 . 0 1 % 以下、

V : 0 % ~ 1 . 0 %、

Ti : 0 % ~ 1 . 0 %、

Nb : 0 % ~ 1 . 0 %、

Cr : 0 % ~ 1 . 0 %、

Mo : 0 % ~ 1 . 0 %、

40

50

C u : 0 % ~ 1 . 0 % 、  
 N i : 0 % ~ 1 . 0 % 、  
 C a : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 M g : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 R E M : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 Z r : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 B : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、  
 B i : 0 % ~ 0 . 0 1 % 、 かつ  
 残部 : F e および不純物、

で表される化学組成を有し、ベイナイトおよびマルテンサイトの体積率が合計で 90 %  
 以上であり、かつ、ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比の平均値が 1 . 5  
 以上である金属組織を有する鋼素材を、500 から 670 までの間の平均加熱速度が 1  
 / s ~ 5 / s となるように 670 以上の温度まで加熱する工程と、  
 前記加熱した後に、670 ~ 780 の温度域で 60 s ~ 1200 s 保持する工程と

10

前記保持した後に、前記温度域から 150 までの間の平均冷却速度が 5 / s ~ 50  
 0 / s となるように 150 以下の温度まで冷却する工程とを備えることを特徴とする  
 鋼材の製造方法。

#### 【0019】

(7) 前記化学組成において、  
 V : 0 . 0 5 % ~ 1 . 0 %

が満たされ、

前記鋼素材中に含まれる V のうちの 70 % 以上が固溶していることを特徴とする上記 (6)  
 に記載の鋼材の製造方法。

20

#### 【発明の効果】

#### 【0020】

本発明によれば、化学組成及び金属組成が適切であるため、引張強度が 980 MPa 以上  
 の引張強度と、優れた延性および衝撃特性とを得ることができる。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0021】

##### 1. 化学組成

まず、本発明の実施形態に係る鋼材およびその製造に用いる鋼素材の化学組成について  
 説明する。以下の説明において、鋼材およびその製造に用いられる鋼板に含まれる各元素  
 の含有量の単位である「%」は、特に断りがない限り「質量%」を意味する。本実施形態  
 に係る鋼材およびその製造に用いられる鋼素材は、C : 0 . 0 5 0 % ~ 0 . 3 5 %、S i  
 : 0 . 5 0 % ~ 3 . 0 %、M n : 3 . 0 % を超えて 7 . 5 % 以下、P : 0 . 0 5 % 以下、  
 S : 0 . 0 1 % 以下、s o l . A l : 0 . 0 0 1 % ~ 3 . 0 %、N : 0 . 0 1 % 以下、V  
 : 0 % ~ 1 . 0 %、T i : 0 % ~ 1 . 0 %、N b : 0 % ~ 1 . 0 %、C r : 0 % ~ 1 . 0  
 %、M o : 0 % ~ 1 . 0 %、C u : 0 % ~ 1 . 0 %、N i : 0 % ~ 1 . 0 %、C a : 0 %  
 ~ 0 . 0 1 %、M g : 0 % ~ 0 . 0 1 %、R E M : 0 % ~ 0 . 0 1 %、Z r : 0 % ~ 0 .  
 0 1 %、B : 0 % ~ 0 . 0 1 %、B i : 0 % ~ 0 . 0 1 %、かつ残部 : F e および不純物  
 で表される化学組成を有する。不純物としては、鉱石、スクラップ等の原材料に含まれる  
 もの、製造工程において含まれるもの、が例示される。

30

#### 【0022】

C : 0 . 0 5 0 % ~ 0 . 3 5 %

C は、強度上昇および延性向上に寄与する元素である。980 MPa 以上の引張強度を  
 有し、さらに引張強度 ( T S ) と全伸び ( E L ) との積 ( T S × E L ) の値が 16000  
 MPa · % 以上の鋼材を得るためには、C 含有量を 0 . 0 5 0 % 以上とする必要がある。  
 しかし、0 . 3 5 % を超えて C を含有させると、衝撃特性が劣化する。このため、C 含有  
 量は 0 . 3 5 % 以下とする必要があり、0 . 2 5 % 以下とするのが好ましい。なお、10

40

50

00MPa以上の引張強度を得るためには、C含有量は0.080%以上とすることが好ましい。

【0023】

Si: 0.50% ~ 3.0%

Siは、強度上昇とともに、オーステナイトの生成を促進させ、延性向上に寄与する元素である。積(TS×EL)の値を16000MPa・%以上にするためには、Si含有量を0.50%以上とする必要がある。しかし、3.0%を超えてSiを含有させると、衝撃特性が劣化する。このため、Si含有量は3.0%以下とする。なお、溶接性を向上させるためには、Si含有量は1.0%以上とすることが好ましい。

【0024】

Mn: 3.0%を超えて7.5%以下

MnもSiと同様に、強度上昇とともに、オーステナイトの生成を促進させ、延性向上に寄与する元素である。鋼材の引張強度を980MPa以上とするとともに、積(TS×EL)の値を16000MPa・%以上にするためには、3.0%を超えてMnを含有させる必要がある。しかし、7.5%を超えてMnを含有させると、転炉における精錬、鑄造が著しく困難になる。このため、Mn含有量は7.5%以下とする必要があり、6.5%以下とするのが好ましい。なお、1000MPa以上の引張強度を得るためには、Mn含有量は4.0%以上とすることが好ましい。

【0025】

P: 0.05%以下

Pは、不純物として含有される元素であるが、強度上昇に寄与する元素でもあるので、積極的に含有させても良い。しかし、0.05%を超えてPを含有させると、溶接性が著しく劣化する。このため、P含有量は0.05%以下とする。P含有量は、0.02%以下とするのが好ましい。上記の効果を得たい場合、P含有量は、0.005%以上とするのが好ましい。

【0026】

S: 0.01%以下

Sは、不純物として不可避免的に含有されるため、S含有量は低ければ低いほどよい。特にS含有量が0.01%を超えると、溶接性が著しく劣化する。このため、S含有量は0.01%以下とする。S含有量は0.005%以下とするのが好ましく、0.0015%以下とするのがより好ましい。

【0027】

sol. Al: 0.001% ~ 3.0%

Alは、鋼を脱酸する作用を有する元素である。鋼材を健全化するためには、sol. Alは0.001%以上含有させる。一方、sol. Al含有量が3.0%を超えると、鑄造が著しく困難になる。このため、sol. Al含有量は3.0%以下とする。sol. Al含有量は0.010%以上であるのが好ましく、1.2%以下であるのが好ましい。なお、sol. Al含有量とは、鋼材中の酸可溶性Alの含有量を意味する。

【0028】

N: 0.01%以下

Nは不純物として不可避免的に含有されるため、N含有量は低ければ低いほどよい。特にN含有量が0.01%を超えると、耐時効性が著しく劣化する。このため、N含有量は0.01%以下とする。N含有量は0.006%以下であるのが好ましく、0.004%以下であるのがより好ましい。

【0029】

V、Ti、Nb、Cr、Mo、Ni、Ca、Mg、REM、Zr、およびBiは、必須元素ではなく、本実施形態に係る鋼材およびその製造に用いられる鋼素材に所定量を限度に適宜含有されていてもよい任意元素である。

【0030】

V: 0% ~ 1.0%

10

20

30

40

50

Vは、鋼材の降伏強度を著しく高めるとともに、脱炭を防止する元素である。したがって、Vを含有させても良い。しかし、1.0%を超えてVを含有させると、熱間加工が著しく困難になる。このため、V含有量は1.0%以下とする。また、鋼材の降伏強度を900MPa以上にするためには、Vを0.05%以上含有させることが好ましい。なお、1100MPa以上の引張強度を得たい場合は、V含有量は0.15%以上とすることがさらに好ましい。また、鋼素材にVが含まれていると、鋼素材中において、ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比の平均値を1.5以上に調整しやすくなる。

#### 【0031】

Ti : 0% ~ 1.0%  
 Nb : 0% ~ 1.0%  
 Cr : 0% ~ 1.0%  
 Mo : 0% ~ 1.0%  
 Cu : 0% ~ 1.0%  
 Ni : 0% ~ 1.0%

10

これらの元素は、鋼材の強度を安定して確保するために効果のある元素である。したがって、上記の元素から選択される1種以上を含有させても良い。しかし、いずれも1.0%を超えて含有させると、熱間加工が困難になる。このため、各元素の含有量はそれぞれ1%以下とする必要がある。前記の効果を得たい場合は、Ti : 0.003%以上、Nb : 0.003%以上、Cr : 0.01%以上、Mo : 0.01%以上、Cu : 0.01%以上、もしくはNi : 0.01%以上、又はこれらの任意の組合せが満たされることが好ましい。なお、上記の元素のうちの2種以上を複合的に含有させる場合、その合計含有量は3%以下とすることが好ましい。

20

#### 【0032】

Ca : 0% ~ 0.01%  
 Mg : 0% ~ 0.01%  
 REM : 0% ~ 0.01%  
 Zr : 0% ~ 0.01%  
 B : 0% ~ 0.01%  
 Bi : 0% ~ 0.01%

これらの元素は、低温靱性を高める作用を有する元素である。したがって、上記の元素から選択される1種以上を含有させても良い。しかし、いずれも0.01%を超えて含有させると、表面性状が劣化する。このため、各元素の含有量はそれぞれ0.01%以下とする必要がある。前記の効果を得たい場合は、これらの元素から選択される1種以上の含有量を0.0003%以上とすることが好ましい。なお、上記の元素のうちの2種以上を複合的に含有させる場合、その合計含有量は0.05%以下とすることが好ましい。ここで、REMは、Sc、Yおよびランタノイドの合計17元素を指し、前記REMの含有量はこれらの元素の合計含有量を意味する。ランタノイドの場合、工業的にはミッシュメタルの形で添加される。

30

#### 【0033】

##### 2. 金属組織

脱炭フェライト層の厚さ : 5  $\mu$ m以下

40

上述のように、脱炭フェライト層とは、熱処理中に鋼材の表面が脱炭されることにより形成される、軟質なフェライト相からなる組織である。また、脱炭フェライト層は、柱状または多角形状を呈するフェライト相を面積率で90%以上含む組織である。980MPa以上という高い引張強度を有しつつも、優れた衝撃特性を維持するためには、表層部における脱炭を抑制する必要がある。脱炭フェライト層の厚さが5  $\mu$ mを超えると、鋼材の疲労特性だけでなく、衝撃特性も低下するため、脱炭フェライト層の厚さは5  $\mu$ m以下とする。

#### 【0034】

残留オーステナイトの体積率 : 10% ~ 40%

50

本発明の実施形態に係る鋼材においては、980MPa以上の引張強度を有しながら、鋼材の延性を著しく向上させるため、残留オーステナイトの体積率を10%以上とする必要がある。一方、残留オーステナイトの体積率が40%を超えると、耐遅れ破壊特性が劣化する。このため、残留オーステナイトの体積率は40%以下とする。

#### 【0035】

セメンタイトの個数密度：2個/ $\mu\text{m}^2$ 未満

本発明の実施形態に係る鋼材においては、衝撃特性を著しく向上させるため、セメンタイトの個数密度を2個/ $\mu\text{m}^2$ 未満とすることが好ましい。なお、セメンタイトの個数密度は小さい方が良いため、下限については特に設けない。

#### 【0036】

残留オーステナイト中の平均C濃度：0.60%以下

また、残留オーステナイト中の平均C濃度を、質量%で、0.60%以下にすると、TRIP現象に伴い生成するマルテンサイトが軟質になり、マイクロクラックの発生が抑制され、鋼材の衝撃特性が著しく向上する。そのため、残留オーステナイト中の平均C濃度は、質量%で、0.60%以下とするのが好ましい。残留オーステナイト中の平均C濃度は、低ければ低い方が好ましいため下限は特に設けない。

#### 【0037】

##### 3. 機械的性質

本発明の実施形態に係る鋼材は、980MPa以上の引張強度を有する。鋼材の引張強度は、1000MPa以上であることが好ましい。また、本発明の実施形態に係る鋼材によれば、優れた延性と衝撃特性とを得ることができる。例えば、引張強度と全伸びとの積の値が16000MPa・%以上の延性を得ることができる。例えば、0でのシャルピー試験の衝撃値が30J/ $\text{cm}^2$ 以上の衝撃特性を得ることができる。さらに鋼材にVが含まれている場合には、例えば降伏強度が900MPa以上の0.2%耐力(降伏強度)を得ることができる。

#### 【0038】

##### 4. 製造方法

本発明に係る鋼材の製造方法について特に制限はないが、例えば、上記の化学組成を有する鋼素材に対して以下に示す熱処理を施すことにより製造することができる。

#### 【0039】

##### 4-1 鋼素材

熱処理に供する鋼素材としては、例えばベイナイトおよびマルテンサイトの体積率が合計で90%以上であり、かつ、ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比の平均値が1.5以上である金属組織を有するものを用いる。また、ベイナイトおよびマルテンサイトの体積率は合計で95%以上であることが好ましい。さらに、鋼素材のV含有量が0.05%~1.0%である場合には、鋼素材中に含まれるVのうちの70%以上が固溶していることが好ましい。

#### 【0040】

鋼素材中のベイナイトおよびマルテンサイトの体積率が合計で90%未満の場合、鋼材の引張強度を980MPa以上とすることが困難となる。さらには、残留オーステナイトの体積率が低くなり延性が劣化するおそれがある。また、ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比が大きくなると、セメンタイトが鋼板表面に対して平行に析出し、脱炭が遮蔽されるようになる。ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比の平均値が1.5未満では、脱炭の遮蔽が不十分となり、脱炭フェライト層が生成するようになる。また、ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比の平均値が1.5未満の場合には、セメンタイトの核生成が促進され、セメンタイトが微細分散するため、個数密度が高くなる。なお、アスペクト比は、ベイナイトおよびマルテンサイトの旧オーステナイト粒に対して、圧延方向に垂直な断面(以下、L断面)から観察した際の各粒の長径を短径で除した値である。また、観察面における全ての粒について求めたアスペクト比の平均値を採用することとする。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 1 】

また、鋼中に含まれるVのうち固溶しているVが70%未満では、熱処理後において、所望の降伏強度が得られない。さらに、熱処理中のオーステナイト成長が遅れるため、残留オーステナイトの体積率が低くなる可能性がある。したがって、鋼素材中に含まれるVのうちの70%以上が固溶していることが好ましい。Vの固溶量は、例えば、鋼素材を電解抽出した後、残渣をICP-OES(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry)を用いて分析することにより、測定することができる。

## 【 0 0 4 2 】

上記の鋼素材は、例えば、比較的低温の熱間圧延によって製造することができる。具体的には、仕上げ温度が800℃以下かつ最終パスの圧下率が10%以上となるように熱間圧延し、仕上げ圧延終了後3s以内に20℃/s以上の平均冷却速度で600℃以下の温度まで急冷する。このような比較的低温の熱間圧延は、通常、未再結晶粒が生成するため、避けられている。また、鋼素材がVを0.05%以上含有する場合には、仕上げ温度が950℃以下かつ最終パスの圧下率が10%以上となるように熱間圧延し、仕上げ圧延の終了後3s以内に20℃/s以上の平均冷却速度で600℃以下の温度まで急冷する。特にVを含む場合には、ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比の平均値を1.5以上になりやすくなる。また、ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比の平均値が1.5以上の鋼組織であれば、その鋼素材を焼戻しても良い。

10

## 【 0 0 4 3 】

## 4 - 2 熱処理

上述のように、本発明に係る鋼材は、上記鋼素材に対して下記処理を施すことによって製造することが可能である。各ステップについて、以下に詳しく説明する。

20

## 【 0 0 4 4 】

## a) 加熱ステップ

まず、上記の鋼素材を500℃から670℃までの間の平均加熱速度が1℃/s~5℃/sとなるように670℃以上の温度まで加熱する。セメントイトは熱処理中の脱炭を抑制する作用を有するが、粗大なセメントイトが鋼材に残存すると、衝撃特性が著しく劣化する。したがって、セメントイトの粒径、および析出反応を制御しやすい500℃から670℃までの間の温度制御は極めて重要である。

## 【 0 0 4 5 】

平均加熱速度が1℃/s未満では、セメントイトが粗大になり、脱炭は抑制される。ところが、粗大なセメントイトが熱処理後の鋼材に残存し、衝撃特性が劣化する。さらには、オーステナイトの生成が不十分となり、延性が劣化するおそれがある。一方、平均加熱速度が5℃/sを超えると、熱処理中にセメントイトが容易に溶解し、熱処理中の脱炭反応を抑制できなくなる。

30

## 【 0 0 4 6 】

なお、500℃までの加熱に際しては、平均加熱速度を0.2℃/s~500℃/sとすることが好ましい。平均加熱速度が0.2℃/sより低いと、生産性が低下する。一方、平均加熱速度が500℃/sを超えると、オーバーシュート等によって、500℃から670℃までの間の温度制御が困難となるおそれがある。

40

## 【 0 0 4 7 】

## b) 保持ステップ

上記の加熱後、670℃~780℃の温度域で60s~1200s保持する。保持温度が670℃未満では、延性が劣化するだけでなく、鋼材の引張強度を980MPa以上とすることが困難となるおそれがある。一方、保持温度が780℃を超えると、鋼材の残留オーステナイトの体積率を10%以上とすることができず、延性の劣化が顕著になるおそれがある。

## 【 0 0 4 8 】

また、保持時間が60s未満では、生成する組織と引張強度とが安定しないため、980MPa以上の引張強度を確保することが困難となるおそれがある。一方、保持時間が1

50

200 sを超えると、内部酸化が顕著となり、衝撃特性が劣化するだけでなく、脱炭フェライト層が生成しやすくなる。保持時間は120 s以上であることが好ましく、900 s以下であることが好ましい。

【0049】

c) 冷却ステップ

上述した加熱保持の後、前記温度域から150 までの間の平均冷却速度が5 / s ~ 500 / sとなるように150 以下の温度まで冷却する。平均冷却速度が5 / s未満では、軟質なフェライトおよびパーライトが過度に生成し、鋼材の引張強度を980 MPa以上とすることが困難となるおそれがある。一方、平均冷却速度が500 / sを超えると、焼割れが発生しやすくなる。

10

【0050】

平均冷却速度は8 / s以上であることが好ましく、100 / s以下であることが好ましい。150 までの平均冷却速度を5 / s ~ 500 / sとすれば、150 以下における冷却速度は、上記範囲と同じでも良く、異なっても良い。

【0051】

また、冷却中の350 から150 までの温度域において、Cはオーステナイトに偏在しやすくなる。したがって鋼材の残留オーステナイト中の平均C濃度を0.60%以下とするためには、上記温度域における滞在時間が40 s以下となるよう冷却するのが好ましい。

【0052】

以下、実施例によって本発明をより具体的に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

20

【実施例】

【0053】

表1に示す化学組成と表2に示す金属組織とを有する鋼素材を、表3に示す条件で熱処理に供した。

【0054】

【表 1】

表1

鋼種	化学組成 (質量%、残部:Feおよび不純物)							その他
	C	Si	Mn	P	S	sol.Al	N	
A	0.23	1.68	3.31	0.012	0.0013	0.035	0.0042	
B	0.074	1.76	5.25	0.012	0.0013	0.029	0.0043	Ca: 0.0013
C	0.14	1.73	4.21	0.010	0.0011	0.034	0.0035	REM: 0.0021
D	0.095	1.87	3.64	0.012	0.0014	0.035	0.0042	Ni: 0.87
E	0.092	2.05	4.95	0.012	0.0013	0.028	0.0041	Mg: 0.0014, Bi: 0.0016
F	0.10	3.25 *	6.31	0.012	0.0013	0.028	0.0042	
G	0.098	1.43	4.26	0.009	0.0012	0.028	0.0046	Cu: 0.32, Ni: 0.45, Zr: 0.0012
H	0.52 *	1.26	3.13	0.011	0.0011	0.028	0.0045	
I	0.15	1.89	4.64	0.012	0.0014	0.031	0.0045	Ti: 0.015, Nb: 0.022, Cr: 0.43
J	0.10	1.98	4.97	0.010	0.0011	0.028	0.0041	
K	0.23	1.43	1.02 *	0.012	0.0012	0.037	0.0041	
L	0.11	1.52	4.42	0.011	0.0009	0.230	0.0042	Mo: 0.12
M	0.12	0.75	4.63	0.013	0.0012	0.032	0.0042	
N	0.15	1.93	4.89	0.009	0.0009	0.028	0.0039	Ca: 0.001, Mo: 0.15, V: 0.47
O	0.12	1.93	4.11	0.010	0.0009	0.034	0.0043	Mg: 0.001, Cr: 0.72, V: 0.37
P	0.030 *	1.91	5.05	0.011	0.0010	0.026	0.0043	V: 0.16
Q	0.10	1.92	4.91	0.011	0.0012	0.028	0.0032	V: 0.30
R	0.10	2.03	2.53 *	0.012	0.0012	0.029	0.0045	V: 0.16
S	0.16	1.52	4.78	0.005	0.0012	0.024	0.0041	Ti: 0.05, Bi: 0.002, V: 0.25
T	0.20	1.94	4.88	0.012	0.0011	0.032	0.0042	V: 0.60
U	0.072	0.30 *	4.92	0.010	0.0011	0.027	0.0037	V: 0.10
V	0.10	1.97	4.89	0.013	0.0013	0.032	0.0043	V: 0.07
W	0.10	1.94	5.01	0.011	0.0014	0.028	0.0046	V: 0.03
X	0.10	1.95	4.97	0.013	0.0011	0.026	0.0045	Zr: 0.002, B: 0.001, V: 0.30
Y	0.30	1.87	5.02	0.013	0.0011	0.024	0.0048	REM: 0.002, V: 0.85
Z	0.10	0.80	4.93	0.012	0.0010	0.314	0.0049	B: 0.001, V: 0.20
AA	0.084	2.42	6.63	0.012	0.0013	0.041	0.0035	V: 0.10
BB	0.11	1.98	3.20	0.013	0.0009	0.041	0.0047	Ni: 0.9, Cu: 0.6, V: 0.20
CC	0.16	1.54	4.78	0.012	0.0011	0.034	0.0038	Nb: 0.03, V: 0.25
DD	0.25	1.93	4.85	0.009	0.0011	0.028	0.0036	V: 0.16

\* 本発明で規定される範囲を外れることを意味する。

【 0 0 5 5 】

10

20

30

【表 2】

表2

試験番号	鋼種	熱間圧延工程			鋼素材						
		仕上げ温度 (°C)	累積圧延率 (%)	圧延後冷却条件	マルテンサイト体積率 (%)	ベイナイト体積率 (%)	合計体積率 (%)	アスペクト比†	全V量 (質量%)	固溶V量 (質量%)	固溶V割合 (%)
1	A	780	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	—	—	—
2	A	840	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.4	—	—	—
3	A	790	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	—	—	—
4	A	790	15	2s後、5°C/sで室温まで	45	50	95	1.2	—	—	—
5	B	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	—	—	—
6	C	780	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	—	—	—
7	D	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	—	—	—
8	D	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	—	—	—
9	D	780	15	15s後、40°C/sで室温まで	95	0	95	1.4	—	—	—
10	E	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.9	—	—	—
11	F*	780	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	—	—	—
12	G	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	—	—	—
13	G	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	—	—	—
14	H*	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.9	—	—	—
15	I	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	—	—	—
16	J	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	—	—	—
17	J	780	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	—	—	—
18	K*	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	—	—	—
19	L	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	—	—	—
20	M	780	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.9	—	—	—
21	N	830	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	0.47	0.42	89
22	O	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	0.37	0.33	89
23	O	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	0.37	0.32	86
24	P*	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	0.16	0.14	88
25	Q	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	0.30	0.27	90
26	R*	830	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	0.16	0.13	81
27	S	830	15	1s後、40°C/sで500°Cまで	0	100	100	1.6	0.25	0.22	88
28	T	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.9	0.60	0.49	82
29	U*	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	0.10	0.08	80
30	V	830	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	0.07	0.06	86
31	V	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	0.07	0.05	71
32	V	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	0.07	0.06	86
33	W	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	0.03	0.03	100
34	W	860	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.1	0.03	0.03	100
35	X	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	0.30	0.25	83
36	Y	830	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	0.85	0.71	84
37	Y	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.9	0.85	0.69	81
38	Z	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	0.20	0.17	85
39	Z	830	15	2s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	0.20	0.19	95
40	Z	830	15	2s後、40°C/sで620°Cまで	65	0	65	1.8	0.20	0.17	85
41	AA	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	0.10	0.09	90
42	BB	830	15	1s後、25°C/sで室温まで	95	0	95	1.7	0.20	0.18	90
43	BB	830	15	1s後、25°C/sで室温まで	95	0	95	1.7	0.20	0.17	85
44	BB	880	5	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.3	0.20	0.17	85
45	CC	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.7	0.25	0.21	84
46	DD	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.6	0.16	0.13	81
47	DD	830	15	1s後、40°C/sで室温まで	100	0	100	1.8	0.16	0.14	88

\* 本発明で規定される化学組成の範囲を外れることを意味する。

† ベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比を意味する。

【 0 0 5 6 】

10

20

30

【表 3】

表3

試験番号	鋼種	加熱ステップ			保持ステップ		冷却ステップ	
		平均加熱速度 <sup>#1</sup> (°C/s)	保持温度 (°C)	保持時間 <sup>#2</sup> (s)	平均冷却速度 <sup>#3</sup> (°C/s)	滞在時間 <sup>#4</sup> (s)		
1	A	3	700	400	50	5		
2	A	3	700	300	50	5		
3	A	10	700	350	50	5		
4	A	3	700	300	50	5		
5	B	3	710	350	50	5		
6	C	3	720	350	50	5		
7	D	3	720	250	50	6		
8	D	3	680	200	3	67		
9	D	3	710	400	50	5		
10	E	3	700	400	50	5		
11	F *	3	700	300	50	6		
12	G	3	700	350	50	5		
13	G	3	800	400	50	5		
14	H *	3	700	200	50	5		
15	I	3	700	300	50	5		
16	J	3	700	200	50	5		
17	J	3	700	2000	50	5		
18	K *	3	730	250	50	5		
19	L	3	700	300	50	5		
20	M	3	700	250	50	5		
21	N	3	700	400	40	6		
22	O	3	710	500	25	10		
23	O	0.2	680	200	40	5		
24	P *	3	700	500	30	7		
25	Q	3	700	500	40	5		
26	R *	3	690	500	20	11		
27	S	3	700	350	10	22		
28	T	3	700	700	40	5		
29	U *	3	675	500	30	7		
30	V	3	700	500	20	10		
31	V	3	675	30	20	10		
32	V	3	800	500	20	10		
33	W	3	700	500	40	5		
34	W	3	700	500	40	5		
35	X	3	700	360	8	25		
36	Y	3	700	500	40	5		
37	Y	3	750	300	40	5		
38	Z	3	700	450	40	5		
39	Z	3	690	400	3	67		
40	Z	3	685	500	30	7		
41	AA	3	685	600	30	7		
42	BB	3	705	540	40	5		
43	BB	3	650	500	40	5		
44	BB	3	700	700	40	5		
45	CC	3	700	500	40	5		
46	DD	3	680	500	15	13		
47	DD	3	680	500	10	20		

\* 本発明で規定される範囲を外れることを意味する。

#1 500°Cから670°Cまでの間の平均加熱速度を意味する。

#2 保持温度に到達した後、その温度で保持した時間を意味する。

#3 保持温度から150°Cまでの間の平均冷却速度を意味する。

#4 冷却中の350°Cから150°Cまでの温度域における滞在時間を意味する。

## 【 0 0 5 7 】

使用した鋼素材は、実験室にて溶製したスラブを表2に示す条件で熱間加工して製造した。この鋼素材を、厚さ1.6mm、幅100mm、長さ200mmの寸法に切断し、表3の条件に従って加熱、保持および冷却した。熱電対を鋼素材表面に貼付し、熱処理中の温度測定を行った。表3に示した平均加熱速度は500 から670 までの間における値であり、保持時間は保持温度に到達した後、その温度で保持した時間である。また、平均冷却速度は保持温度から150 までの間における値であり、滞在時間は、冷却中の350 から150 までの温度域における滞在時間である。

## 【 0 0 5 8 】

熱処理前の鋼素材の金属組織、熱処理で得られた鋼材の金属組織および機械的性質につ

10

20

30

40

50

いて、以下に説明するように、金属組織観察、X線回折測定、引張試験、およびシャルピー衝撃試験により調査した。

【0059】

<鋼素材の金属組織>

鋼素材のL断面を電子顕微鏡で観察および撮影し、合計 $0.04\text{ mm}^2$ の領域を解析することによって、ベイナイトおよびマルテンサイトの面積率およびアスペクト比を測定した。そして、鋼素材の組織は等方的であるため、上記面積率の値をベイナイトおよびマルテンサイトの体積率とした。なお、アスペクト比は、ベイナイトおよびマルテンサイトの旧オーステナイト粒に対して、各粒の長径を短径で除することによって求め、その平均値を算出した。

10

【0060】

観察位置は、中心偏析部を避け、板厚の約 $1/4$ の位置( $1/4t$ の位置)とした。中心偏析部を避ける理由は以下の通りである。中心偏析部は、鋼材の代表的な金属組織に対して、局所的に異なる金属組織を有する場合がある。しかしながら、中心偏析部は、板厚全体に対して微小な領域であり、鋼材の特性にはほとんど影響を及ぼさない。すなわち、中心偏析部の金属組織は、鋼材の金属組織を代表しているといえない。そのため、金属組織の同定においては、中心偏析部を避けることが好ましい。

【0061】

<鋼素材の固溶V量>

鋼素材を電解抽出した後、残渣をICP-OES(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry)を用いて分析することにより、当該鋼素材中に固溶していたVの量を測定した。

20

【0062】

<鋼材の金属組織>

各鋼材から幅 $20\text{ mm}$ 、長さ $20\text{ mm}$ の試験片を採取し、この試験片に化学研磨を施して $0.4\text{ mm}$ 減厚し、化学研磨後の試験片の表面に対してX線回折を3回実施した。得られたプロファイルを解析し、それぞれを平均して残留オーステナイトの体積率を算出した。

【0063】

<残留オーステナイト中の平均C濃度>

X線回折で得られたプロファイルを解析し、オーステナイトの格子定数を算出し、下式に基づき、残留オーステナイト中の平均C濃度を決定した。

30

$$c = (a - 3.572) / 0.033$$

ただし、上記式中の各記号の意味は以下のとおりである。

a：オーステナイトの格子定数( )

c：残留オーステナイト中の平均C濃度(質量%)

【0064】

<脱炭フェライト層の厚さ>

鋼材のL断面を電子顕微鏡で観察、撮影し、鋼板表面の $1\text{ mm}$ 領域を解析することによって、脱炭フェライト層の厚さを測定した。

40

【0065】

<セメントタイトの個数密度>

セメントタイトの個数密度については、合計 $2500\text{ }\mu\text{ m}^2$ の領域を解析することによって、セメントタイトの個数密度を測定した。

【0066】

<引張試験>

各鋼材から厚さ $1.6\text{ mm}$ のJIS5号引張試験片を採取し、JIS Z 2241(2011)に準じて引張試験を行い、TS(引張強度)、YS(降伏強度、 $0.2\%$ 耐力)およびEL(全伸び)を測定した。また、このTSとELとから $TS \times EL$ の値を計算した。

50

【 0 0 6 7 】

< 衝撃特性 >

各鋼材の表裏面を、厚さが 1 . 2 m m となるように研削し、V ノッチ試験片を作製した。その試験片を 4 枚積層してねじ止めした後、J I S Z 2 2 4 2 ( 2 0 0 5 ) に準じてシャルピー衝撃試験に供した。衝撃特性は、0 での衝撃値が 3 0 J / c m <sup>2</sup> 以上である場合を良好 ( ) とし、3 0 J / c m <sup>2</sup> 未満である場合を不良 ( x ) とした。

【 0 0 6 8 】

鋼素材の金属組織観察の結果を表 2 に、X 線回折測定、引張試験およびシャルピー衝撃試験の結果を表 4 にまとめて示す。

【 0 0 6 9 】

【 表 4 】

表 4

試験番号	鋼種	残留オーステナイト		脱炭 フェライト層 厚さ (μm)	セメントライト (個/μm <sup>2</sup> )	機械的特性				衝撃特性	
		体積率 (%)	平均C 濃度 (%)			YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	TS×EL (MPa%)		
1	A	15	0.43	2.3	2未満	795	987	24.0	23688	○	本発明例
2	A	15	0.35	6.4 *	2以上	802	992	24.0	23808	x	比較例
3	A	16	0.35	5.7 *	2未満	728	994	21.0	20874	x	比較例
4	A	13	0.38	7.4 *	2以上	874	1003	22.0	22066	x	比較例
5	B	18	0.28	1.2	2未満	857	994	23.0	22862	○	本発明例
6	C	13	0.43	0.4	2未満	827	1026	22.0	22572	○	本発明例
7	D	12	0.30	0.3	2未満	795	995	24.0	23880	○	本発明例
8	D	13	0.62	1.3	2未満	753	888 *	31.0	27528	○	比較例
9	D	13	0.30	5.2 *	2以上	775	1002	23.0	23046	x	比較例
10	E	20	0.28	1.1	2未満	803	1076	24.0	25824	○	本発明例
11	F *	14	0.33	1.0	2未満	815	1103	23.0	25369	x	比較例
12	G	20	0.35	0.5	2未満	804	1110	22.0	24420	○	本発明例
13	G	5 *	- #	0	2未満	798	1204	5.0	6020	○	比較例
14	H *	24	0.55	0.2	2未満	782	1319	20.0	26380	x	比較例
15	I	18	0.37	0.4	2未満	784	1240	18.0	22320	○	本発明例
16	J	19	0.32	0.1	2未満	806	1068	23.0	24564	○	本発明例
17	J	15	0.32	6.2 *	2未満	784	1014	24.0	24336	x	比較例
18	K *	7 *	- #	0.2	2未満	712	823 *	19.0	15637	○	比較例
19	L	19	0.28	1.2	2未満	786	1097	24.0	26328	○	本発明例
20	M	16	0.32	0.6	2未満	804	1005	22.0	22110	○	本発明例
21	N	16	0.28	0	2未満	998	1273	17.6	22405	○	本発明例
22	O	15	0.33	0	2未満	975	1203	16.8	20210	○	本発明例
23	O	9 *	- #	0	2未満	921	1072	17.4	18653	x	比較例
24	P *	3 *	- #	0	2未満	647	735 *	21.5	15803	○	比較例
25	Q	15	0.33	0	2未満	967	1203	17.9	21534	○	本発明例
26	R *	2 *	- #	0	2未満	941	965 *	14.0	13510	○	比較例
27	S	18	0.35	0	2未満	997	1206	18.4	22190	○	本発明例
28	T	19	0.42	0	2未満	1052	1342	18.6	24961	○	本発明例
29	U *	7 *	- #	0	2未満	933	946 *	16.3	15420	○	比較例
30	V	24	0.33	0	2未満	920	1092	19.5	21294	○	本発明例
31	V	9	0.48	0	2未満	902	975 *	16.3	15893	○	比較例
32	V	2 *	- #	0	2未満	917	1407	10.4	14633	○	比較例
33	W	18	0.38	0.7	2未満	910	1022	21.3	21769	○	本発明例
34	W	16	0.33	5.3 *	2以上	887	1004	20.4	20482	x	比較例
35	X	15	0.45	0	2未満	965	1189	17.9	21283	○	本発明例
36	Y	18	0.35	0	2未満	1125	1408	17.3	24358	○	本発明例
37	Y	23	0.35	0	2未満	1175	1643	13.8	22673	○	本発明例
38	Z	13	0.37	0	2未満	952	1105	18.4	20332	○	本発明例
39	Z	12	0.62	0	2未満	902	963 *	17.0	16371	○	比較例
40	Z	3 *	- #	0	2未満	874	924 *	14.2	13121	○	比較例
41	AA	19	0.28	0	2未満	944	1145	17.5	20038	○	本発明例
42	BB	17	0.38	0	2未満	948	1123	19.1	21449	○	本発明例
43	BB	3 *	- #	0	2未満	941	943 *	15.9	14994	○	比較例
44	BB	15	0.35	6.2 *	2未満	939	1103	18.8	20736	x	比較例
45	CC	20	0.37	0	2未満	961	1206	18.4	22190	○	本発明例
46	DD	23	0.46	0	2未満	943	1206	19.0	22914	○	本発明例
47	DD	26	0.44	0	2未満	938	1228	23.1	28367	○	本発明例

\* 本発明で規定される範囲を外れることを意味する。

# 残留オーステナイトの体積率が条件を満たしていないことにより未測定を意味する。

【 0 0 7 0 】

表 2 ~ 4 に示すように、比較例である試験番号 2、4、9、34 および 44 は、鋼素材のベイナイトおよびマルテンサイトのアスペクト比が 1 . 5 未満であったため、脱炭フェ

10

20

30

40

50

ライト層の厚さが5  $\mu\text{m}$ 超となり、その結果、衝撃特性が悪かった。試験番号8および39は、平均冷却速度が低かったため、パーライトが過剰に生成し、980 MPa以上の引張強度が得られなかった。試験番号3は、熱処理における平均加熱速度が高かったことに起因して、脱炭フェライト層の厚さが5  $\mu\text{m}$ 以上となり、その結果、衝撃特性が悪かった。

【0071】

試験番号11は、Si含有量が規定の範囲より高いため、衝撃特性が劣った。試験番号14は、C含有量が規定の範囲より高いため、衝撃特性が劣った。試験番号13および32は、熱処理における保持温度が高かったため、残留オーステナイトの体積率が低くなり、その結果、延性が悪かった。試験番号17は、熱処理における保持時間が長かったため、脱炭フェライト層の厚さが5  $\mu\text{m}$ 以上となり、その結果、衝撃特性が悪かった。

10

【0072】

試験番号18および26は、Mn含有量が規定の範囲より低く、試験番号24は、C含有量が規定の範囲より低く、試験番号29は、Si含有量が規定の範囲より低かったため、延性が悪かっただけでなく、980 MPa以上の引張強度が得られなかった。試験番号23は、熱処理における加熱速度が低かったため、残留オーステナイトの体積率が低くなり、その結果、延性が悪化し、さらに衝撃特性が悪かった。試験番号31は、熱処理における保持時間が短かったため、生成する組織と引張強度が安定せず、980 MPa以上の引張強度が得られなかった。試験番号40は、ベイナイトおよびマルテンサイトの体積率が合計で90%未満であったため、試験番号43は、熱処理における保持温度が低かったため、残留オーステナイトの体積率が低くなり、その結果、延性が悪く、さらに980 MPa以上の引張強度が得られなかった。

20

【0073】

一方、本発明例である試験番号1、5~7、10、12、15、16、19~22、25、27、28、30、33、35~38、41、42および45~47は、980 MPa以上の引張強度を有するとともに、引張強度と全伸びとの積( $TS \times EL$ )の値が16000 MPa $\cdot\%$ 以上と延性に優れ、さらに、0でのシャルピー試験の衝撃値が30 J/cm<sup>2</sup>以上と衝撃特性も良好であった。

【産業上の利用可能性】

【0074】

本発明によれば、例えば、自動車関連産業、エネルギー関連産業、および建築関連産業に利用することができる。

30

---

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0

C 2 1 D 9 / 4 6 - 9 / 4 8