

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第5048168号  
(P5048168)

(45) 発行日 平成24年10月17日(2012.10.17)

(24) 登録日 平成24年7月27日(2012.7.27)

(51) Int.Cl.	F I	
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 O 1 W
C 2 2 C 38/18 (2006.01)	C 2 2 C 38/18	
C 2 2 C 38/60 (2006.01)	C 2 2 C 38/60	
C 2 1 D 9/46 (2006.01)	C 2 1 D 9/46	F
C 2 3 C 22/07 (2006.01)	C 2 3 C 22/07	
請求項の数 12 (全 40 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2012-505524 (P2012-505524)  
 (86) (22) 出願日 平成23年9月22日(2011.9.22)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2011/071618  
 審査請求日 平成24年2月15日(2012.2.15)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000006655  
 新日本製鐵株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号  
 (74) 代理人 100064908  
 弁理士 志賀 正武  
 (74) 代理人 100108578  
 弁理士 高橋 詔男  
 (74) 代理人 100106909  
 弁理士 棚井 澄雄  
 (74) 代理人 100129403  
 弁理士 増井 裕士  
 (74) 代理人 100134359  
 弁理士 勝俣 智夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 冷間加工用中炭素鋼板及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

100 /秒の平均加熱速度で昇温後、1000 で10秒保持し、200 /秒の平均冷却速度で室温まで急冷する高周波焼入れを行った場合に硬度が500HV以上かつ900HV以下になる冷間加工用中炭素鋼板であって、

質量%で、

C : 0.30 ~ 0.60 %、

Si : 0.06 ~ 0.30 %、

Mn : 0.3 ~ 2.0 %、

P : 0.030 %以下、

S : 0.0075 %以下、

Al : 0.005 ~ 0.10 %、

N : 0.001 ~ 0.01 %、

Cr : 0.001 ~ 0.10 %

を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、炭化物の平均径dが0.6µm以下、炭化物の球状化率pが70%以上かつ90%未満であり、前記炭化物の平均径dµmと前記炭化物の球状化率p%とがd = 0.04 × p - 2.6を満足する

ことを特徴とする冷間加工用中炭素鋼板。

【請求項2】

質量%で、さらに、

Ni : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 % 、  
 Cu : 0 . 0 5 ~ 0 . 5 % 、  
 Mo : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 % 、  
 Nb : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 % 、  
 Ti : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 5 % 、  
 V : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 % 、  
 Ta : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 % 、  
 B : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 0 1 % 、  
 W : 0 . 0 1 ~ 0 . 5 % 、  
 Sn : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 3 % 、  
 Sb : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 3 % 、  
 As : 0 . 0 0 3 ~ 0 . 0 3 %

10

の 1 種以上をさらに含有することを特徴とする請求項 1 に記載の冷間加工用中炭素鋼板。

【請求項 3】

Cr 量 [ Cr ] と、Mo 量 [ Mo ] とが、 $[ Cr ] + [ Mo ] / 10 < 0 . 10$  を満足することを特徴とする請求項 2 に記載の冷間加工用中炭素鋼板。

【請求項 4】

冷間加工前の硬度が 120HV 以上かつ 170HV 未満であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の冷間加工用中炭素鋼板。

【請求項 5】

20

少なくとも片面に、金属成分 X を含む Si - O - X で表されるシラノール結合に起因する成分、耐熱樹脂、無機酸塩および潤滑剤の各成分を含む表面処理皮膜をさらに有し、

この表面処理皮膜が、膜厚方向に前記各成分の濃度勾配を有し、かつ前記表面処理皮膜と前記冷間加工用中炭素鋼板との界面に近い順に、密着層とベース層と潤滑剤層との 3 つの層を有し、

前記密着層が、前記シラノール結合に起因する成分を前記 3 つの層の中で最も多く含み、0.1nm 以上かつ 100nm 以下の厚みを有し、

前記ベース層が、前記耐熱樹脂および前記無機酸塩を前記 3 つの層の中で最も多く含み、かつ、100質量部の前記耐熱樹脂に対して 0.01質量部以上かつ 10質量部以下の前記無機酸塩を含み、0.1μm 以上かつ 15μm 以下の厚みを有し、

30

前記潤滑剤層が、前記潤滑剤を前記 3 つの層の中で最も多く含み、0.1μm 以上かつ 10μm 以下の厚みを有し、

前記潤滑剤層の厚みに対する前記ベース層の厚みの比が、0.2 以上かつ 10 以下である

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の冷間加工用中炭素鋼板。

【請求項 6】

前記無機酸塩が、リン酸塩、ホウ酸塩、ケイ酸塩、モリブデン酸塩およびタングステン酸塩からなる群より選択される少なくとも 1 種の化合物であることを特徴とする請求項 5 に記載の冷間加工用中炭素鋼板。

【請求項 7】

40

前記耐熱樹脂が、ポリイミド樹脂、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂及びフッ素樹脂からなる群より選択される少なくとも 1 種の樹脂であることを特徴とする請求項 5 に記載の冷間加工用中炭素鋼板。

【請求項 8】

前記潤滑剤が、ポリテトラフルオロエチレン、二硫化モリブデン、二硫化タングステン、酸化亜鉛およびグラファイトからなる群より選択される少なくとも 1 種の化合物であることを特徴とする請求項 5 に記載の冷間加工用中炭素鋼板。

【請求項 9】

請求項 1 または請求項 2 に記載の成分組成を有する鋳片を、1050 以上かつ 1300 以下に保持する第 1 の工程と；

50

この第1の工程後、前記鋳片に対して750以上かつ1000以下で圧延を終了する熱間圧延を行い、鋼板を得る第2の工程と；

この第2の工程後、前記鋼板を、20 /秒以上かつ50 /秒以下の第一の平均冷却速度で500以上かつ700以下の第一の冷却終了温度まで冷却する第3の工程と；

この第3の工程後、前記鋼板を、5 /秒以上かつ30 /秒以下の第二の平均冷却速度で400以上かつ前記第一の冷却終了温度より50低い温度以下の第二の冷却終了温度まで冷却し、巻取る第4の工程と；

この第4の工程後、400以上かつ前記第二の冷却終了温度以下である時間が30時間以下に制限されるように前記鋼板を保持する第5の工程と；

この第5の工程後、前記鋼板を、600以上かつA<sub>c1</sub>点-10以下まで加熱し、5時間以上かつ100時間未満保持して焼鈍を行う第6の工程と；  
を含むことを特徴とする請求項1～3の何れか一項に記載の冷間加工用中炭素鋼板の製造方法。

10

【請求項10】

冷間加工前の硬度を120HV以上かつ170HV未満とすることを特徴とする請求項9に記載の冷間加工用中炭素鋼板の製造方法。

【請求項11】

前記第6の工程では、400以下の露点が-20未満、400超での露点が-40未満であり、かつ、水素濃度が95%以上であることを特徴とする請求項9または10に記載の冷間加工用中炭素鋼板の製造方法。

20

【請求項12】

前記第6の工程の後に、水溶性シランカップリング剤、水溶性無機酸塩、水溶性耐熱樹脂および潤滑剤を含む水系の表面処理液を前記冷間加工用中炭素鋼板の少なくとも片面に塗布し、前記表面処理液を乾燥させて、前記冷間加工用中炭素鋼板の少なくとも片面に前記表面処理皮膜を形成することを特徴とする請求項9～11の何れか一項に記載の冷間加工用中炭素鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷間加工性に優れ、さらには高周波焼き入れに代表される熱処理時間の短い焼き入れ処理においても、強度を高めることが可能な冷間加工用中炭素鋼板及びその製造方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

中炭素鋼板は、チェーン、ギヤー、クラッチ、鋸、刃物等の素材として広く用いられている。製品化には、素材を所定の形状へと成形後、焼入れ焼戻しの熱処理により硬化させる工程が通常行われる。このため、中炭素鋼板には加工性と焼入れ性との両立が求められる。特に近年、加工技術が発達し、圧縮加工と引張加工が同時に施される、従来よりも加工度の高い成形法が採用されるようになり、中炭素鋼板には厳しい加工に耐えることのできる成形性が求められている。更に、近年の省エネルギー化の要望により、焼入れ焼戻し工程を従来の炉加熱方式から、高周波加熱方式へと変更する動きがある。以上のような、ニーズの変化に対応するため、冷間加工前に軟質でありかつ冷間加工時の加工に耐え、高周波加熱後の焼入れ性（以下、高周波焼入れ性という。また、高周波加熱後の焼入れを、単に高周波焼入れという。）に優れた中炭素鋼板の開発が必須であった。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】日本国特開平11-80884号公報

【特許文献2】日本国特開平9-268344号公報

【特許文献3】日本国特開2001-329333号公報

50

【特許文献4】日本国特開2001-355047号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来、中炭素鋼板の加工性と高周波焼入れ性との関係について、多くの調査がなされてきたが（例えば、特許文献1～4、参照）、冷間加工性に優れかつ100 / 秒以上の加熱速度において焼入れ性を十分に確保できる例は報告されていないと思われる。

【0005】

例えば、特許文献1には、C：0.1～0.8質量%、S：0.01質量%以下の亜共析鋼からなる中・高炭素鋼板が開示されている。この中・高炭素鋼板では、炭化物球状化率が90%以上であるように炭化物がフェライト中に分散しており、かつ平均炭化物粒径が0.4～1.0 μmであり、必要に応じてフェライト結晶粒径が20 μm以上に調整されている。しかし、この中・高炭素鋼板では、上述のように炭化物の形態を適正に制御し、局部延性を改善することにより、伸びフランジ性を改善しているが、圧縮加工と引張加工の両加工特性が十分ではないと考えられる。

10

また、特許文献2には、冷鍛性に優れ、かつ静的強度や曲げ疲労強度および転がり接触疲労強度に優れた高強度高周波焼入れ用鋼が開示されている。この高周波焼入れ用鋼では、鍛造性を得るために必要な具体的な炭化物の形状が明示されておらず、焼入れ時の加熱温度や保持時間等の具体的な条件も明確にされていない。

また、特許文献3には、冷間鍛造性に優れ、限界据込率の高い高周波焼入れ用鋼が開示されているが、焼入れ時の加熱温度や保持時間等の具体的な条件は明確にされておらず実際に焼入れ性に優れるか明確でない。

20

更に、特許文献4には、冷間加工性と高周波焼入れ性とに優れた高炭素鋼管が開示されている。この高炭素鋼管は、スウェーピングや拡管などの局部延性に支配される加工法に適しており、本発明の対象とする打抜き、絞り、曲げ、バーリング、据込み、しごき、押出し等の冷間鍛造性が十分ではないと考えられる。

【0006】

本発明が対象とする冷間加工は、打抜き、絞り、曲げ、バーリング、据込み、しごき、押出し等の様々な加工であり、これらの加工時には厳しい圧縮及び引張がかかる。中炭素鋼板に前述の冷間加工を適用した場合には、フェライト相と炭化物との間に界面剥離による亀裂が発生して伝播し、割れが生じると考えられる。したがって、加工時におけるこの界面剥離を防止するためには、成分の調整及び炭化物の形態制御が重要である。

30

また、冷間加工された素材は、焼入れ処理が施されることが多く、熱処理時間が短い高周波焼入れ処理においては、加熱中に素材中の炭化物が十分に溶解せず、安定した焼入れ性を得ることが困難である。したがって、高周波焼入れによって十分に炭化物を溶解させるためには、素材の炭化物の形態制御が重要である。

しかしながら、中炭素鋼板に冷間加工を適用して、高周波焼入れを行う場合の問題点がこれまでのところ明確でないように思われる。

なお、本発明において、中炭素鋼板は、Cが0.30%以上かつ0.60%以下であって、板厚が1.6 mm以上かつ20 mm以下の鋼板を示す。

40

【0007】

本発明は、上記実情に鑑み、冷間加工性に優れ、高周波焼入れ処理においても、十分な焼入れ硬化能を有する高周波焼入れ性に優れた中炭素鋼板及びその製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明者らは、上記目的を達成する手法について鋭意研究した。その結果、鋼板の成分組成の調整に加え、所定の条件を満足するように炭化物の平均径と炭化物の球状化率とを制御することで、冷間加工時の硬度が低くて冷間加工性に優れ、平均加熱速度が100 / 秒以上の高周波焼入れ処理においても、十分な焼入れ硬化能を有する中炭素鋼板を提供

50

することができることを知見した。

【0009】

本発明は、上記知見に基づいてなされたもので、その要旨は以下のとおりである。

【0010】

(1) 本発明の一態様に係る冷間加工用中炭素鋼板は、100 / 秒の平均加熱速度で昇温後、1000 で10秒保持し、200 / 秒の平均冷却速度で室温まで急冷する高周波焼入れを行った場合に硬度が500HV以上かつ900HV以下になる冷間加工用中炭素鋼板であって、質量%で、C: 0.30~0.60%、Si: 0.06~0.30%、Mn: 0.3~2.0%、P: 0.030%以下、S: 0.0075%以下、Al: 0.005~0.10%、N: 0.001~0.01%、Cr: 0.001~0.10%を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、炭化物の平均径dが0.6μm以下、炭化物の球状化率pが70%以上かつ90%未満であり、前記炭化物の平均径dμmと前記炭化物の球状化率p%とが $d = 0.04 \times p - 2.6$ を満足する。

10

【0011】

(2) 上記(1)に記載の冷間加工用中炭素鋼板は、質量%で、さらに、Ni: 0.01~0.5%、Cu: 0.05~0.5%、Mo: 0.01~0.5%、Nb: 0.01~0.5%、Ti: 0.001~0.05%、V: 0.01~0.5%、Ta: 0.01~0.5%、B: 0.001~0.01%、W: 0.01~0.5%、Sn: 0.003~0.03%、Sb: 0.003~0.03%、As: 0.003~0.03%の1種以上をさらに含有してもよい。

20

(3) 上記(2)に記載の冷間加工用中炭素鋼板では、Cr量[Cr]と、Mo量[Mo]とが、 $[Cr] + [Mo] / 10 < 0.10$ を満足してもよい。

(4) 上記(1)または(2)に記載の冷間加工用中炭素鋼板では、冷間加工前の硬度が120HV以上かつ170HV未満であってもよい。

【0012】

(5) 上記(1)または(2)に記載の冷間加工用中炭素鋼板は、少なくとも片面に、金属成分Xを含むSi-O-Xで表されるシラノール結合に起因する成分、耐熱樹脂、無機酸塩および潤滑剤の各成分を含む表面処理皮膜をさらに有し、この表面処理皮膜が、膜厚方向に前記各成分の濃度勾配を有し、かつ前記表面処理皮膜と前記冷間加工用中炭素鋼板との界面に近い順に、密着層とベース層と潤滑剤層との3つの層を有し、前記密着層が、前記シラノール結合に起因する成分を前記3つの層の中で最も多く含み、0.1nm以上かつ100nm以下の厚みを有し、前記ベース層が、前記耐熱樹脂および前記無機酸塩を前記3つの層の中で最も多く含み、かつ、100質量部の前記耐熱樹脂に対して0.01質量部以上かつ10質量部以下の前記無機酸塩を含み、0.1μm以上かつ15μm以下の厚みを有し、前記潤滑剤層が、前記潤滑剤を前記3つの層の中で最も多く含み、0.1μm以上かつ10μm以下の厚みを有し、前記潤滑剤層の厚みに対する前記ベース層の厚みの比が、0.2以上かつ10以下であってもよい。

30

【0013】

(6) 上記(5)に記載の冷間加工用中炭素鋼板では、前記無機酸塩が、リン酸塩、ホウ酸塩、ケイ酸塩、モリブデン酸塩およびタングステン酸塩からなる群より選択される少なくとも1種の化合物であってもよい。

40

(7) 上記(5)に記載の冷間加工用中炭素鋼板では、前記耐熱樹脂が、ポリイミド樹脂、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂及びフッ素樹脂からなる群より選択される少なくとも1種の樹脂であってもよい。

(8) 上記(5)に記載の冷間加工用中炭素鋼板では、前記潤滑剤が、ポリテトラフルオロエチレン、二硫化モリブデン、二硫化タングステン、酸化亜鉛およびグラファイトからなる群より選択される少なくとも1種の化合物であってもよい。

【0014】

(9) 本発明の一態様に係る上記(1)~3の何れか一項に記載の冷間加工用中炭素鋼板の製造方法は、上記(1)または(2)に記載の成分組成を有する鋳片を、1050

50

以上かつ1300 以下に保持する第1の工程と；この第1の工程後、前記鋳片に対して750 以上かつ1000 以下で圧延を終了する熱間圧延を行い、鋼板を得る第2の工程と；この第2の工程後、前記鋼板を、20 /秒以上かつ50 /秒以下の第一の平均冷却速度で500 以上かつ700 以下の第一の冷却終了温度まで冷却する第3の工程と；この第3の工程後、前記鋼板を、5 /秒以上かつ30 /秒以下の第二の平均冷却速度で400 以上かつ前記第一の冷却終了温度より50 低い温度以下の第二の冷却終了温度まで冷却し、巻取る第4の工程と；この第4の工程後、400 以上かつ前記第二の冷却終了温度以下である時間が30時間以下に制限されるように前記鋼板を保持する第5の工程と；この第5の工程後、前記鋼板を、600 以上かつ $A_{c1}$ 点-10 以下まで加熱し、5時間以上かつ100時間未満保持して焼鈍を行う第6の工程と；を含む。

10

## 【0015】

(10) 上記(9)に記載の冷間加工用中炭素鋼板の製造方法では、冷間加工前の硬度を120HV以上かつ170HV未満としてもよい。

(11) 上記(9)または(10)に記載の冷間加工用中炭素鋼板の製造方法では、前記第6の工程において、400 以下での露点が-20 未満、400 超での露点が-40 未満であり、かつ、水素濃度が95%以上であってもよい。

(12) 上記(9)~(11)の何れか一項に記載の冷間加工用中炭素鋼板の製造方法では、前記第6の工程の後に、水溶性シランカップリング剤、水溶性無機酸塩、水溶性耐熱樹脂および潤滑剤を含む水系の表面処理液を前記冷間加工用中炭素鋼板の少なくとも片面に塗布し、前記表面処理液を乾燥させて、前記冷間加工用中炭素鋼板の少なくとも片面に前記表面処理皮膜を形成してもよい。

20

## 【発明の効果】

## 【0016】

本発明によれば、冷間加工前には低硬度(軟質)であり、圧縮加工と引張加工との両冷間加工特性に優れ、冷間加工後の平均加熱速度が100 /秒以上の高周波焼入れ処理においても、十分な焼入れ硬化能を有し、高強度を確保することができる冷間加工性と高周波焼入れ性との両立を図った冷間加工用中炭素鋼板及びその製造方法を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0017】

【図1】焼入れ硬度及び冷間加工性に及ぼす炭化物の平均径及び炭化物の球状化率の影響を示す図である。

30

【図2】Si量と冷間加工後の炭化物界面及び粒内の亀裂数との関係を示す図である。

【図3】 $[Cr] + [Mo] / 10$ と焼入れ硬度との関係を示す図である。

【図4】炭化物の球状化率と炭化物起点の亀裂数との関係を示す図である。

【図5】S量と硫化物起点の亀裂数との関係を示す図である。

【図6】本発明の一実施形態の変形例に係る冷間加工用鋼板の構成を模式的に示す縦断面図である。

【図7A】スパイク試験方法について説明する概略図である。

【図7B】スパイク試験片の加工前の形状と加工後の形状とを説明する概略図である。

40

【図8】本発明の冷間加工用中炭素鋼板の製造方法の概略を示すフローチャートである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0018】

以下本発明を詳細に説明する。

## 【0019】

まず、本発明の一実施形態に係る冷間加工用鋼板(以下「本実施形態の鋼板」ということがある。)の成分組成に係る限定理由について説明する。なお、以下、「%」は「質量%」を意味する。

## 【0020】

C: 0.30 ~ 0.60%

50

Cは、鋼板の焼入れ強度を確保するうえで重要な元素である。そのため、鋼中にCを0.30%以上添加し、所要の強度を確保する。C量が0.30%未満では、焼入れ性が低下し、機械構造用高強度鋼板としての強度が得られないので、C量の下限は0.30%である。C量が0.60%を超えると、破壊の起点として作用する炭化物の割合が増加し冷間加工性が低下するため、C量の上限は0.60%である。より焼入れ性を確保する必要がある場合には、C量の下限が、0.35%であることが好ましく、0.37%であることがより好ましく、0.40%であることが最も好ましい。また、炭化物の形態をより制御しやすくする場合には、C量の上限が、0.55%であることが好ましく、0.52%であることがより好ましく、0.50%であることが最も好ましい。

**【0021】**

Si : 0.06 ~ 0.30%

Siは、脱酸剤として作用し、加工時におけるフェライトと炭化物との間の界面剥離を抑えるとともに、焼入れ性の向上に有効な元素である。Si量が0.06%未満では、この添加効果が得られないので、Si量の下限は0.06%である。一方、Si量が0.30%を超えると、固溶強化によってフェライト相における亀裂発生頻度（粒内亀裂発生頻度）が増加し、熱間圧延時のスケール疵によって表面性状が劣化するので、Si量の上限は0.30%である。フェライトと炭化物との間の界面における剥離をより低減する場合には、Si量の下限が、0.10%であることが好ましく、0.13%であることがより好ましく、0.15%であることが最も好ましい。また、フェライト相での亀裂（粒内亀裂）の発生をより低減する場合には、Si量の上限が、0.26%であることが好ましい。

**【0022】**

Mn : 0.3 ~ 2.0%

Mnは、脱酸剤として作用し、焼入れ性の向上に有効な元素である。Mn量が0.3%未満では、この添加効果が得られないので、Mn量の下限は0.3%である。Mn量が2.0%を超えると、高周波加熱時の炭化物の溶解が遅れ、焼入れ性（焼入れ硬度）が低下するので、Mn量の上限は2.0%である。より焼入れ性を高める場合には、Mn量の下限が、0.5%であることが好ましく、0.55%であることがより好ましく、0.65%又は0.73%であることが最も好ましい。また、より高周波焼入れ性を確保する場合には、Mn量の上限が、1.6%であることが好ましく、1.4%であることがより好ましく、1.2%又は1.0%であることが最も好ましい。

**【0023】**

P : 0.030%以下

Pは、固溶強化元素であり、鋼板の強度に有効な元素である。鋼中にPが過剰に含有されると、靱性が低下するので、P量の上限は0.030%である。Pは、不可避的不純物である。P量を0.005%未満に低減すると、精錬コストが上昇するので、P量を0.005%未満に低減しなくてもよい。より靱性を必要とする場合には、P量の上限が0.020%であることが好ましい。

**【0024】**

S : 0.0075%以下

Sは、非金属介在物（硫化物）を形成し、加工性及び熱処理後の靱性を低下させる原因になるので、S量の上限は0.0075%以下である。図5に、S量と冷間加工時に硫化物が起点として作用する亀裂（硫化物起点の亀裂）の数との関係を示す。この図5から分かるように、S量が0.0075%以下であると、硫化物起点の亀裂数が大きく低下する。また、Sは、不可避的不純物である。S量を0.0001%未満に低減すると、精錬コストが大幅に上昇するので、S量を0.0001%未満又は0.001%以下に低減しなくてもよい。また、より高い加工性及び靱性を確保する必要がある場合には、S量の上限は、0.007%であることが好ましく、0.005%であることがより好ましい。

**【0025】**

Al : 0.005 ~ 0.10%

A 1 は、脱酸剤として作用し、N の固定に有効な元素である。A 1 量が 0.005% 未満では、この添加効果が十分に得られないので、A 1 量の下限は 0.005% である。A 1 量が 0.10% を超えると、上記添加効果が飽和し、表面疵が発生し易くなるので、A 1 量の上限は 0.10% である。より十分に N を固定するためには、A 1 量の下限が 0.01% であることが好ましい。また、表面疵の発生をより確実に抑えるためには、A 1 量の上限を 0.07% 又は 0.05% としてもよい。

**【0026】**

N : 0.001 ~ 0.01%

N は、窒化物を形成する元素である。湾曲型連続鋳造における鋳片曲げ矯正時に窒化物が析出すると、鋳片が割れることがあるので、N 量の上限は 0.01% である。N は、不可避的不純物である。鋼中の N 量は少ないほど好ましいが、N 量を 0.0010% 未満に低減すると、精錬コストが増加するので、N 量の下限は 0.0010% である。精錬コストをより低減する場合には、N 量の下限が 0.002% であることが好ましい。窒化物の発生または粗大化をより抑える必要がある場合には、N 量の上限が、0.008% であることが好ましく、0.006% であることがより好ましい。

10

**【0027】**

Cr : 0.001 ~ 0.10%

Cr は、高周波加熱時の炭化物の安定性を高める元素である。鋼中への Cr の添加によって Cr 量が 0.10% を超えると、炭化物の安定性を大きく高め、高周波加熱時の炭化物の溶解を抑制し、焼入れ性を低下させる。そのため、Cr 量の上限は、0.10% である。鋼中の Cr 量が少ないほど高周波焼入れ性が高まるが、Cr 量を 0.001% 以下に低減すると、精錬コストが大きく増加するため、Cr 量の下限は 0.001% である。高周波加熱時の炭化物の溶解速度をより増加させる場合には、Cr 量の上限が、0.080% であることが好ましく、0.070% であることがより好ましい。また、精錬コストをより低減する場合には、Cr 量の下限が、0.010% であることが好ましい。

20

**【0028】**

鋼板の機械特性を強化するため、Ni、Cu、及び、Mo の 1 種以上を、所要量、鋼中に添加してもよい。

**【0029】**

Ni : 0.01 ~ 0.5%

Ni は、靱性及び焼入れ性の向上に有効な元素である。Ni 量が 0.01% 未満では、この添加効果がないので、Ni 量の下限は 0.01% である。Ni 量が 0.5% を超えると、上記効果が飽和し、コストが増加するので、Ni 量の上限は 0.5% である。強度の観点からは、Ni 量の下限が 0.05% であることが好ましい。また、コストの観点からは、Ni 量の上限が 0.3% であることが好ましく、0.2% であることがより好ましく、0.15% であることが最も好ましい。

30

**【0030】**

Cu : 0.05 ~ 0.5%

Cu は、焼入れ性の確保に有効な元素である。Cu 量が 0.05% 未満では、この添加効果が不十分であるので、Cu 量の下限は 0.05% である。Cu 量が 0.5% を超えると、硬さが増加し過ぎ、冷間加工性が劣化するので、Cu 量の上限は 0.5% である。強度の観点からは、Cu 量の下限が 0.08% であることが好ましい。また、加工性の観点からは、Cu 量の上限が 0.3% であることが好ましく、0.2% であることがより好ましく、0.15% であることが最も好ましい。

40

**【0031】**

Mo : 0.01 ~ 0.5%

Mo は、焼入れ性の向上に有効な元素である。Mo 量が 0.01% 未満では、この添加効果が小さいので、Mo 量の下限は 0.01% である。Mo 量が 0.5% を超えると、鋼中に Mo 系の炭化物が多く析出する。高周波焼入れでは、Mo 系の炭化物が十分に溶解せず、素材の焼入れ性が低下するため、Mo 量の上限は 0.5% である。より高い焼入れ性

50



が必要である場合には、Mn量の上限が、0.3%であることが好ましく、0.1%であることがより好ましい。

【0032】

鋼板の機械特性を、さらに強化するため、Nb、V、Ta、B、及び、Wの1種以上を、所定量、鋼中に添加してもよい。

【0033】

Nb：0.01～0.5%

Nbは、炭窒化物を形成し、結晶粒の粗大化防止及び靱性改善に有効な元素である。Nb量が0.01%未満では、この添加効果が十分に発現しないので、Nb量の下限は0.01%である。Nb量が0.5%を超えると、上記添加効果が飽和するので、Nb量の上限は0.5%である。上記添加効果を効率良く利用するためには、Nb量が、0.07～0.4%であることが好ましい。必要に応じて、Nb量の下限を0.09%又は0.14%に、上限を0.35%又は0.3%に制限してもよい。

10

【0034】

Ti：0.001～0.05%

Tiは、N固定の観点から鋼中に添加され、鱗片の脆化抑制及び材質の安定化に寄与する。Tiを鋼中に添加してTi量が0.05%を超えると、この効果が飽和し、Ti量が0.001%以下では、この効果が得られない。そのため、Ti量の範囲は、0.001～0.05%である。上記効果を効率良く利用するためには、Ti量の上限が、0.20%であることが好ましい、0.10%であることがより好ましく、0.06%であることが最も好ましい。

20

【0035】

V：0.01～0.5%

Vは、Nbと同様に、炭窒化物を形成し、結晶粒の粗大化防止及び靱性改善に有効な元素である。V量が0.01%未満では、この添加効果が小さいので、V量の下限は0.01%である。V量が0.5%を超えると、炭化物が生成し焼入れ硬度が低下するので、V量の上限は0.5%である。上記効果を効率良く利用するためには、V量が、0.07～0.2%であることが好ましい。

【0036】

Ta：0.01～0.5%

Taは、Nb、Vと同様に、炭窒化物を形成し、結晶粒の粗大化防止及び靱性改善に有効な元素である。Ta量が0.01%未満では、この添加効果が小さいので、Ta量の下限は0.01%である。Ta量が0.5%を超えると、炭化物が生成し焼入れ硬度が低下するので、Ta量の上限は0.5%である。上記効果を効率良く利用するためには、Ta量が、0.07～0.2%であることが好ましい。

30

【0037】

B：0.001～0.01%

Bは、微量の添加で、焼入性を高めるのに有効な元素である。B量が0.001%未満では、この添加効果がないので、B量の下限は0.001%である。B量が0.01%を超えると、鑄造性が低下し、B系化合物が生成して靱性が低下するので、B量の上限は0.01%である。より高い焼入れ性が必要とされる場合には、B量の下限が、0.003%であることが好ましい。また、B系化合物の生成を抑える必要がある場合には、B量の上限が、0.007%であることが好ましく、0.005%であることがより好ましい。

40

【0038】

W：0.01～0.5%

Wは、鋼板の強化に有効な元素である。W量が0.01%未満では、この添加効果が発現しないので、W量の下限は0.01%である。W量が0.5%を超えると、加工性が低下するので、W量の上限は0.5%である。強度の観点からは、W量の下限が0.04%であることが好ましい。加工性の観点からは、W量の上限が0.2%であることが好ましい。

50

## 【 0 0 3 9 】

鋼板の原料としてスクラップを用いた場合、不可避免的に S n、S b、及び、A s の 1 種以上が鋼中に混入することがあるが、いずれも、その量が 0 . 0 3 % 以下であれば、高周波焼入れ性および焼入れ性を阻害しない。そのため、S n : 0 . 0 3 % 以下、S b : 0 . 0 3 % 以下、及び、A s : 0 . 0 3 % 以下の 1 種以上を鋼中に含有してもよい。通常、これらの成分は、それぞれ 0 . 0 0 3 % 以上不純物として含まれるが、少ない方が好ましい。

## 【 0 0 4 0 】

鋼板中の O 量を規定していないが、酸化物が凝集して粗大化すると、冷間加工性が低下するので、O 量は、0 . 0 0 2 5 % 以下であることが好ましい。O 量は、少ないほうが好ましいが、不可避免的に含まれる O の量を 0 . 0 0 0 1 % 未満に低減することは、技術的に困難であるので、0 . 0 0 0 1 % 以上の O を含有してもよい。

10

## 【 0 0 4 1 】

鋼板の溶製原料としてスクラップを用いた場合、Z n、Z r 等の元素が、不可避免の不純物として混入するが、鋼板の特性を阻害しない範囲で、上記元素が鋼中に混入してもよい。なお、Z n、Z r 以外の元素でも、鋼板の特性を阻害しない範囲で、鋼中に混入してもよい。

## 【 0 0 4 2 】

上述したように、C r 及び M o は、いずれも高温時における炭化物から母相への C の供給（固溶）を抑制し、焼入れ性を低下させる。すなわち、C r は、セメンタイト中に固溶し、高周波加熱時にセメンタイトから母相への C の固溶を抑制し、焼入れ性を低下させる。また、M o は、鋼中に過剰に含まれると、M o 系の炭化物を形成する。この場合、高周波加熱時にこの M o 系の炭化物から母相への C の固溶が抑制され、焼入れ性が低下する。したがって、鋼中に C r と M o とが含まれる場合には、C r 量 [ C r ] と M o 量 [ M o ] とが、以下の ( 1 ) 式を満足することが好ましい。

20

$$[ C r ] + [ M o ] / 1 0 < 0 . 1 0 \quad \dots ( 1 )$$

以上のように、本実施形態の中炭素鋼板は、上述の基本元素を含み、残部 F e 及び不可避免の不純物からなる化学組成、または、上述の基本元素と、上述の選択元素から選択される少なくとも 1 種とを含み、残部 F e 及び不可避免の不純物からなる化学組成を有する。

## 【 0 0 4 3 】

さらに、本実施形態では、上述の成分組成に加えて、炭化物の形態を制御する必要がある。以下に炭化物の形態について詳細に説明する。

30

すなわち、炭化物の平均径が 0 . 6  $\mu$  m 以下であり、炭化物の球状化率が 7 0 % 以上かつ 9 0 % 未満であり、炭化物の平均径 d (  $\mu$  m ) と炭化物の球状化率 p ( % ) とが、下記式 ( 2 ) を満足する。

$$d \leq 0 . 4 \times p - 2 . 6 \quad \dots ( 2 )$$

## 【 0 0 4 4 】

組織（炭化物）の観察には、走査型電子顕微鏡を用いることが好ましい。3 0 0 0 倍の倍率にて組織観察面上に炭化物が 5 0 0 個以上含まれる視野（領域）を 4 個所以上選択し、その領域中に含まれる各炭化物の面積を測定する。ここで、ノイズによる測定誤差の影響を抑えるため、面積が 0 . 0 1  $\mu$  m<sup>2</sup> 以下の炭化物は、評価の対象から除外する。測定した炭化物の平均面積（面積の平均値）を円形で近似した際の直径（円相当径）を、平均径（平均炭化物径）と定義する。各炭化物の短軸長に対する長軸長の比（アスペクト比）が 3 以上の炭化物を針状炭化物と定義し、この比が 1 以上かつ 3 未満の炭化物を球状炭化物と定義する。また、球状炭化物の個数を全炭化物の個数で除した値を炭化物の球状化率と定義する。

40

## 【 0 0 4 5 】

炭化物の平均径は、0 . 6  $\mu$  m 以下にする必要がある。粗大な炭化物は、溶解完了までに必要な時間が長い場合、焼入れ性を低下させやすい。特に、炭化物の平均径が 0 . 6  $\mu$  m よりも大きい場合、平均加熱速度 1 0 0 / 秒の高周波焼入れにおける焼入れ硬化能は

50

低下する。また、高周波焼入れの条件及び上記成分組成に応じて、炭化物の平均径を、 $0.55\ \mu\text{m}$ 以下に制御することが好ましく、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以下に制御することがより好ましい。なお、上記の測定方法から、面積が $0.01\ \mu\text{m}^2$ 超の炭化物の平均径を、 $0.11$  ( $=0.2/\quad$ )  $\mu\text{m}$ 超かつ $0.6\ \mu\text{m}$ 以下に規定してもよい。

【0046】

炭化物の球状化率は、70%以上かつ90%未満である。針状炭化物の周辺は、冷間加工時に応力が局所化しやすく、割れの発生起点になりやすい。特に、球状化率が70%未満であると、冷間加工性が悪化するため、炭化物の球状化率は70%以上である。また、より高い冷間加工性が必要である場合には、炭化物の球状化率が、73%以上であることが好ましく、75%以上であることがより好ましい。一方で、球状炭化物では、針状炭化物に比べて、鋼の母相と接する表面積が小さく、炭化物から母相への炭素の放出拡散経路が狭い。特に、球状化率が90%以上である場合、平均加熱速度 $100$  /秒の高周波焼入れにおける焼入れ硬化能が十分でない。また、高周波焼入れの条件に応じて、炭化物の球状化率を85%未満に制御することが好ましい。なお、前記の測定方法から、面積が $0.01\ \mu\text{m}^2$ 超の炭化物の球状化率を、70%以上かつ90%未満と規定してもよい。

【0047】

上記の条件(平均径及び球状化率)に加えて、炭化物の平均径 $d$  ( $\mu\text{m}$ )と炭化物の球状化率 $p$  (%)とが、上記(2)式を満足する必要がある。すなわち、炭化物の球状化率が70%以上かつ80%未満であり、針状炭化物が多い場合に、針状炭化物の長軸長の絶対値が冷間加工性に影響を及ぼすため、炭化物の球状化率と炭化物の平均径との間に(2)式の関係が必要になる。以下に、この(2)式について説明する。

冷間加工性は、冷間加工時の亀裂数と深い関係があり、亀裂数が多いほど冷間加工性が低い。冷間加工時の亀裂は、加工により導入された転位の絡み合いや転位のカッティングにより生じたボイド(原子空孔)を核として発生すると考えられる。したがって、加工歪の集中を抑えることにより冷間加工性を確保することができる。

炭化物が針状であると、短軸長と長軸長との間の寸法差が大きく、針状の炭化物の長軸方向の端部(長軸端部)に応力が集中し、この長軸端部の応力場と短軸方向の端部(短軸端部)の応力場との間の応力差が大きくなる。この応力場の不均一性を解消するため、転位(歪)が導入される。このため、冷間加工時には、針状炭化物の近傍でボイドが多数生成し、亀裂が発生すると考えられる。一方、炭化物が球状であると、短軸長と長軸長との間の寸法差が小さく、応力場の不均一性が少ないため、炭化物の近傍に転位(歪)が局在化しにくくなり、亀裂の発生が抑制されると考えられる。

また、炭化物のアスペクト比だけではなく、針状炭化物の長軸長の絶対値も長軸端部の応力集中に影響を及ぼす。長軸長が大きいほど、長軸端部での応力集中が高くなるため、転位(歪)が発生しやすくなる。このため、冷間加工性を確保するためには、炭化物の球状化率が高くない場合(針状炭化物が多い場合)に、炭化物の平均径を小さくする必要がある。すなわち、炭化物の球状化率が70%以上かつ80%未満である場合に、炭化物の平均径 $d$  ( $\mu\text{m}$ )と炭化物の球状化率 $p$  (%)とが、上記(2)式を満足する必要がある。

このように、本発明者らは、炭化物の平均径と炭化物の球状化率とについて適切な所定の条件を満足させることにより、高周波焼入れ性を確保しながら冷間加工性を高めることができることを明らかにした。

【0048】

さらに、本実施形態では、上述の成分組成及び炭化物の形態に加えて、冷間加工前の硬度を制御することが望ましい。

冷間加工前の硬度が $170\ \text{HV}$ 未満であれば、十分な延性が得られるため、加工時に十分な成形量を確保することができる。より大きな成形量を確保するためには、冷間加工前の硬度が、 $165\ \text{HV}$ 未満であることが好ましく、 $160\ \text{HV}$ 未満であることがさらに好ましく、 $155\ \text{HV}$ 未満であることが最も好ましい。鋼板が軟質な程、延性が改善し厳しい加工にも鋼板が耐えうるが、打抜き加工時のダレが発生しやすくなる。そのため、冷間

10

20

30

40

50

加工前の硬度が、120HV以上であることが好ましい。近年、打ち抜きと曲げと絞り加工とを一体化した冷間加工技術も普及しつつあり、そのような製造工程の一体化に応じて、適切に冷間加工前の硬度を制御することが望ましい。

【0049】

成分組成に加え、炭化物の平均径と炭化物の球状化率とについて適切な上記所定の条件を満足させることにより、鋼板の冷間加工性と高周波焼入れ性とを両立させる技術は、本発明者らが見いだした新規な知見である。本発明者らは、さらに、冷間加工前の硬度を170HV未満に制御することにより、冷間加工に対して鋼板を好適に使用できることを見出した。

【0050】

高周波焼入れ後の焼入れ硬度は、500HV以上であることが好ましい。焼入れ硬度が500HV以上であると、焼入れ鋼の高強度化に伴い耐摩耗性が向上する。特に、自動車用部品のクラッチプレートやギヤのような部材では、耐摩耗性を得るために500HV以上の硬質化が望ましい。焼入れ硬度が高すぎると、焼入れ部の靱性が極度に低下し、機械構造用部材としての機能を失うことがある。そのため、高周波焼入れ後の焼入れ硬度は、900HV以下であることが好ましく、800HV以下であることがより好ましく、750HV以下であることが最も好ましい。

【0051】

ここでは、部品に必要とされる焼入れ硬度の基準を定義するために、100 /秒の平均加熱速度で室温から1000 /秒まで加熱後10秒保持し、直ちに200 /秒以上の平均冷却速度で室温まで急冷する高周波焼入れを行っている。具体的には、本発明における高周波焼入れの試験条件は、750 /秒以上を $100 \pm 15$  /秒の平均加熱速度で室温から $1000 \pm 20$  /秒まで昇温後、 $1000 \pm 20$  /秒で $10 \pm 0.5$ 秒保持し、その後直ちに800 /秒から400 /秒の間を $200 \pm 10$  /秒の平均冷却速度で室温まで急冷する条件である。この条件の高周波焼入れ後、ビッカース硬さで500以上（つまり500HV以上）となる鋼板が、本発明の対象である。

【0052】

また、鋼板の板厚は、特に制限されないが、加工性の観点から、20mm以下又は16mm以下であることが好ましく、14mm以下であることがより好ましく、12mm以下又は9mm以下であることが最も好ましい。また、強度の観点から、1mm以上又は2mm以上であることが好ましく、2.5mm以上であることがより好ましく、3mm以上であることが最も好ましい。

【0053】

さらに、図1～5を用いて、本実施形態の鋼板の重要な概念について説明する。

【0054】

図1に、焼入れ硬度及び冷間加工性に及ぼす炭化物の平均径及び炭化物の球状化率の影響を示す。また、冷間加工性を、幅30mm、長さ100mmの試験片（平板曲げ試験片）を用いて平板曲げ試験により評価した。この曲げ試験では、曲げられたサンプル（平板曲げサンプル）の内面（内周面）及び外面（外周面）に、それぞれ圧縮応力及び引張応力がかかるため、サンプルの内面側及び外面側の亀裂を評価することで、圧縮応力及び引張応力に対する加工性を同時に測定することが可能である。本発明では、曲げ半径を板厚の1/2に設定し、曲げ角度を90°に設定している。図1に示すように、炭化物の平均径dが0.6μm以下であり、炭化物の球状化率pが70%以上かつ90%未満であり、炭化物の平均径d（μm）と炭化物の球状化率p（%）とが上記式（2）を満たす鋼板（図1中の白丸）では、高周波焼入れ後に500HV以上の焼入れ硬度を得ることができ、加工時に割れが発生しなかった。これに対して、炭化物の球状化率が70%以上かつ80%未満であり、炭化物の平均径d（μm）と炭化物の球状化率p（%）とが上記式（2）を満たさない鋼板又は炭化物の球状化率が70%未満である鋼板（図1中の黒四角）では、破壊の起点として作用する炭化物の割合が増加し、加工時に割れが発生した。また、炭化物の平均径が0.6μm超であり、炭化物の球状化率が80%以上かつ90%未満である

10

20

30

40

50

鋼板又は炭化物の球状化率が90%以上である鋼板(図1中の黒三角)では、焼入れ硬度が十分ではなかった。

【0055】

ここでは、特に別記しない限り、基準として使用する焼入れ硬度は、以下の条件で測定した硬度と定義する。サンプルを、周波数78kHzにて100 / 秒の平均加熱速度で室温から1000 / 秒まで加熱後10秒保持し、直ちに200 / 秒以上の平均冷却速度で室温まで急冷する高周波焼入れを行い、ビッカース硬度を測定した。この高周波焼入れ後のビッカース硬度が本実施形態における焼入れ硬度である。球状化率が低下するほど、炭化物が溶けやすくなるため焼入れ硬度は高くなりやすい。同様に、炭化物の平均径が低下するほど、炭化物が溶けやすくなるため焼入れ硬度は高くなりやすい。一方、球状化率が増加するほど、加工性は大きくなる。このように、炭化物の形態を制御することにより、互いに相反する加工性と焼入れ硬化性の両因子を両立させることができる。

10

【0056】

図2に、Si量と冷間加工性(冷間加工後の炭化物界面及び粒内の亀裂数)との関係を示す。平板曲げサンプルの曲げ角部(最大曲率部)の板厚断面(板厚方向及び長手方向を含む断面)において板厚1/8~3/8、5/8~7/8の領域の亀裂数を走査型電子顕微鏡にて倍率3000倍で測定した。上記の亀裂数が1mm<sup>2</sup>あたり20個以内である場合、冷間加工時における界面剥離に起因する亀裂発生が抑えられると判断できるため、冷間加工性が“良好”であると評価した。また、亀裂数が20個超である場合、冷間加工性が“不良”であると評価した。図2に示すように、Si量が0.06%以上である鋼板では、冷間加工性が良好であった。さらに、0.3%のSi量まではSi量が増加するとともに、亀裂数が減少した。この場合には、フェライトと炭化物との界面における剥離によって亀裂が生じていた。さらに、Si量が0.3%を超えると、Si量が増加するとともに、亀裂数が増加した。この場合には、フェライト相中に亀裂が生じていた。また、Si量が0.06%から0.1%まで増加すると、亀裂数の低下割合が大きく、冷間加工性が大きく改善した。加えて、Si量が0.15~0.26%であれば、Siにより冷間加工性を改善する効果を最大限得ることができた。なお、図2では、C量が0.40~0.45%のサンプルを680 / 秒で30hr焼鈍後、後述の冷間加工性の評価を行った。

20

【0057】

図3に、[Cr]+[Mo]/10と焼入れ硬度との関係を示す。図3に示すように、[Cr]+[Mo]/10が0.10未満であると、焼入れ硬度がより向上する。したがって、[Cr]+[Mo]/10が0.10未満であることが好ましい。なお、図3では、C量が0.40~0.45%のサンプルを680 / 秒で30hr焼鈍後、上述の高周波焼入れを行い、焼入れ硬度が測定された。

30

【0058】

図4に、炭化物の球状化率と冷間加工時に炭化物を起点として発生する亀裂(炭化物起点の亀裂)の数との関係を示す。この図4から分かるように、炭化物の球状化率が70%未満であると、急激に亀裂数が増加することが分かる。

また、図5に、S量と冷間加工時の硫化物起点の亀裂数との関係を示す。この図5から分かるように、S量が0.0075%以下であると、硫化物起点の亀裂数が大きく低下する。

40

なお、硫化物起因の亀裂と炭化物起因の亀裂とを判別するために、走査型電子顕微鏡に付属のエネルギー分散型X線分光器(EDS)を使用した。

【0059】

次に、本発明の一実施形態に係る冷間加工用中炭素鋼板の製造方法(以下「本実施形態の製造方法」という。)について説明する。本実施形態の製造方法は、高温捲取と低温焼鈍とを組みわせる技術思想を有しており、その具体例を以下に示す。なお、以下に示す製造方法は、その一例であって、必要な組織が得られれば他の方法で製造してもよい。

【0060】

まず、上記実施形態の化学成分の連続铸造铸片(铸片)を加熱する。加熱温度は、10

50

50 以上かつ1300 以下である。また、加熱中の脱炭と吸窒を抑えるため均熱時間は、150分以下であることが好ましく、90分以下であることがより好ましい。ここで、均熱時間は、鑄片表面の温度が目標加熱温度より20 低い温度に達した時から、鑄片が加熱炉を出るまでの時間を示している。加熱温度が1300 を超えたり、均熱時間が過剰に長すぎたりすると、加熱工程でスラブの表層部の脱Cが顕著になり、鋼板表面の焼入れ性が劣化する。また、1050 以上に鑄片を加熱すると、略オーステナイト単相の組織を得ることができる。脱Cを抑制する観点から、加熱温度は、1280 以下であることが好ましく、1240 以下であることがより好ましく、1200 以下であることが最も好ましい。同様に、均熱時間は、60分以下であることがさらに好ましい。なお、均熱時間の下限は、特に制限されない。

10

**【0061】**

なお、連続鑄造鑄片を、直接熱間圧延に供しても、冷却後再加熱して熱間圧延に供してもよい。前者と、後者との間で、鋼板特性に差は殆ど生じない。

**【0062】**

熱間圧延では、通常の熱間圧延、及び、仕上圧延においてスラブを接合する連続化熱間圧延のどちらを採用してもよい。熱間圧延の終了温度（熱延終了温度）は、生産性、板厚精度、異方性改善及び表面疵抑制の観点から決定される。熱間圧延終了温度が750 より低いと、仕上げ圧延で焼き付きによる疵が多発する。また、熱延終了温度が1000 より高いと、スケール起因の疵の発生頻度が高くなり、製品歩留まりが低下してコストを増大させる。そのため、熱間圧延終了温度は、750～1000 である。

20

**【0063】**

さらに、熱間圧延（仕上圧延）後の鋼板を、熱間圧延後直ちに20 /秒以上かつ50 /秒以下の平均冷却速度（第一の平均冷却速度）で500 以上かつ700 以下の冷却温度（第一の冷却終了温度）まで冷却する。この場合、初析フェライトの生成及び成長を制限しながら鋼板中に生成するパーライトのラメラ間隔を減少させ、焼鈍後の鋼板中の炭化物を微細にすることができる。熱延終了温度からこの冷却温度（第一の冷却終了温度）までの平均冷却速度が20 /秒以下であると、初析フェライトの生成及び成長が制限されないため、偏析に伴うパーライトバンドが生成することがある。そのため、焼鈍後に粗大な炭化物が形成されやすく、焼入れ性が低下することがある。また、この平均冷却速度が50 /秒以上であると、鋼板の温度制御が困難になる。さらに、上述の球状化率を有するセメンタイトを確保するために必要なパーライトが十分に生成しないことがある。このように、パーライトの組織制御を適切に行うため、パーライトの変態開始温度と変態終了温度とを考慮して、上記冷却温度を、500 以上かつ700 に制御している。

30

**【0064】**

その後、この鋼板を、5 /秒以上かつ30 /秒以下の平均冷却速度（第二の平均冷却速度）で400 以上かつ上記の第一の冷却終了温度より少なくとも50 低い温度（すなわち、第一の冷却終了温度と第二の冷却終了温度の差が50 以上、第一の冷却終了温度より50 低い温度以下）である巻取温度（第二の冷却終了温度）まで冷却して巻き取る。この場合、鋼板中のパーライト量を確保しながら鋼板中に生成するパーライトのラメラ間隔を減少させ、焼鈍後の鋼板中の炭化物を微細にすることができる。第一の冷却終了温度から第一の冷却終了温度よりも50 低い温度までの温度域で鋼板を巻き取った場合、ラメラ間隔の粗いパーライトが生成し、焼鈍後に炭化物が球状化しにくくなり冷間加工性を悪化させるため、巻き取りを第一の冷却終了温度より少なくとも50 低い温度で行う。また、上記冷却温度から巻取温度までの平均冷却速度が5 /秒以下であると、偏析に伴うパーライトバンドが生成したり、パーライトのラメラ間隔が大きく増加したりすることがある。そのため、焼鈍後に粗大な炭化物が形成されやすく、鋼板の焼入れ性が低下することがある。また、この平均冷却速度が30 /秒以上であると、上述の球状化率を有するセメンタイトを確保するために必要なパーライトが十分に生成しないことがある。

40

**【0065】**

50

また、上述のように、冷却後の鋼板は、400 から第一の冷却終了温度より少なくとも50 低い温度までの巻取温度で巻き取られる。巻取温度が400 未満であると、一部マルテンサイト変態が生じて鋼板の強度が高くなり、ハンドリングが困難になることがある。また、組織が不均一になり、冷延する際にゲージハンチングが生じて歩留りが低下することがある。一方、第一の冷却終了温度より50 低い温度を超える温度で巻き取りを実施すると、前述のとおり、ラメラ間隔の粗いパーライトが生成し、焼鈍後の球状化率を低下させるため、冷間加工性が悪化する。

【0066】

さらに、巻き取られた鋼板（コイル）が400 以上である時間が30時間以下に制限されるように、鋼板を400 以上かつ第二の冷却終了温度以下に保持する。その後、鋼板を、400 以下の温度（例えば、室温、酸洗可能な温度）まで冷却する。ここで、保持と冷却とを同一の工程で行う場合、冷却時に、鋼板が400 以上である時間を30時間以下に制限する。これらの場合、脱炭を抑制して、表面のC量を十分に確保することができる。鋼板が400 以上である時間が30時間を越えると、鋼板表面で酸素源（例えば、空気）と炭素とが反応し、高周波焼入れに必要とされる鋼板表面の炭素量を確保することが困難になる。

10

上記の冷却された鋼板を酸洗し、表面を清浄化した後、鋼板に軟質化焼鈍を施す。本実施形態では、鋼板に軟質化箱焼鈍を施し、鋼板の加工性を向上させている。

【0067】

軟質化箱焼鈍（焼鈍）では、鋼板を室温から600 以上かつ $A_{c1} - 10$  以下の焼鈍温度まで加熱した後、5時間以上かつ100時間未満保持する。この5時間以上かつ100時間未満の保持によりフェライト粒を粗大化させて鋼板を軟質化させ、かつ炭化物の球状化率を高めすぎないように鋼板が焼鈍される。焼鈍温度が $A_{c1} - 10$  以上（特に、 $A_{c1}$  以上）であると、炭化物が急速に球状化するため、その後の高周波焼入れにおいて焼入れ性が低下する。一方、焼鈍温度が600 以上かつ $A_{c1} - 10$  以下であると、鋼板中の元素（特に、C）の拡散速度が最適化され、炭化物の球状化率を適切に制御することができる。

20

【0068】

箱焼鈍では、水素濃度が95%以上であり、かつ、400 以下での露点が-20 未満、400 超での露点が-40 未満であることが好ましい。

30

【0069】

水素濃度が95%以上の雰囲気中で焼鈍を行うと、コイル内の温度分布をより均一に制御することができることに加え、窒素侵入による焼入れ性の低下を抑制することができる。また、400 以下での露点を-20 未満に制御し、400 超での露点を-40 未満に制御すると、焼鈍中の脱炭を十分に抑制することができる。

【0070】

その他の処理については、鋼板中の炭化物の形態が、上記実施形態の鋼板の条件を満たす限り、特に制限されない。例えば、冷延およびその後の軟質化焼鈍を実施してよい。ここで、分かりやすいように、図8には、本実施形態及び以下の変形例を含む本発明の冷間加工用鋼板の製造方法の概略を示すフローチャートを示している。

40

【0071】

なお、冷間加工性をさらに向上させるために、潤滑性の観点から上記実施形態の鋼板の表面に表面処理皮膜を形成しても良い。例えば、上記実施形態の鋼板の一変形例として、上記実施形態の鋼板の表面に以下の表面処理皮膜を形成することが好ましい。

【0072】

この変形例では、素地である鋼板との密着性を確保する密着層と、潤滑剤を保持するベース層と、潤滑性を向上させる潤滑剤層とからなる傾斜型の表面処理皮膜を鋼板表面に設け、各層の厚みを制御している。そのため、簡便な処理工程で地球環境保全の観点から好適な表面処理皮膜を鋼板表面に形成することができる。また、優れた潤滑性、焼き付き防止性能及びカジリ防止性能を鋼板に付与することができる。

50

## 【 0 0 7 3 】

以下に図 6 を参照しながら、本変形例の冷間加工用鋼板（鋼板）について詳細に説明する。

なお、本明細書及び上記図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

## 【 0 0 7 4 】

[ 本変形例に係る鋼板の構成 ]

まず、図 6 を参照しながら、本変形例に係る鋼板（以下、「表面処理鋼板」という。）の構成について説明する。図 6 は、表面処理鋼板の構成を模式的に示す縦断面図である。

## 【 0 0 7 5 】

図 6 に示すように、表面処理鋼板 1 は、素地である鋼板 1 0 と、鋼板 1 0 の少なくとも片面に形成された表面処理皮膜（皮膜）1 0 0 とを有する。

## 【 0 0 7 6 】

（鋼板 1 0 ）

表面処理鋼板 1 の素地である鋼板 1 0 には、上記実施形態の鋼板をそのまま用いることができる。しかしながら、上記実施形態の鋼板にめっきを施しても良い。例えば、上記実施形態の鋼板に、亜鉛、ニッケル、鉄、アルミニウム、チタン、マグネシウム、クロム、マンガン、スズの 1 種以上の金属を使用しためっきを施すことができる。

## 【 0 0 7 7 】

（表面処理皮膜 1 0 0 ）

表面処理皮膜 1 0 0 では、この皮膜中の各成分が膜厚方向に濃度勾配を有している。そのため、傾斜型皮膜である表面処理皮膜 1 0 0 を 3 層に区分することが可能である。すなわち、この表面処理皮膜 1 0 0 では、表面処理皮膜 1 0 0 と鋼板 1 0 との界面から表面処理皮膜 1 0 0 の表面に向かって、密着層 1 1 0、ベース層 1 2 0、潤滑剤層 1 3 0 の順に 3 つの層が形成されている。

## 【 0 0 7 8 】

ここで、本変形例における「傾斜型」は、上記のように、表面処理皮膜 1 0 0 中に含まれる成分が、皮膜の膜厚方向に濃度勾配を有することを意味する。すなわち、表面処理皮膜 1 0 0 中の主な成分としては、素地である鋼板 1 0 の表面の金属と間に形成されるシラノール結合（詳細は後述する。）に起因する成分、耐熱樹脂、無機酸塩および潤滑剤があるが、これらの成分が、表面処理皮膜 1 0 0 の膜厚方向に濃度勾配を有している。より詳細には、表面処理皮膜 1 0 0 と鋼板 1 0 との界面から表面処理皮膜 1 0 0 の表面に向かって、潤滑剤 1 3 1 の濃度が増加し、反対に、耐熱樹脂および無機酸塩の濃度が減少する。また、表面処理皮膜 1 0 0 と鋼板 1 0 との界面に近付くとともに、シラノール結合に起因する成分が増加する。したがって、表面処理皮膜 1 0 0 に含まれる密着層 1 0 0、ベース層 1 2 0 および潤滑剤層 1 3 0 が、完全に分離して 3 つの層を形成している（ある層の成分が他の層には存在しない）わけではない。

## 【 0 0 7 9 】

以下、表面処理皮膜 1 0 0 を構成する各層の構成について詳細に説明する。

## 【 0 0 8 0 】

< 密着層 1 1 0 >

密着層 1 1 0 は、冷間加工に伴う表面処理皮膜 1 0 0 と素地である鋼板 1 0 との密着性を確保し、表面処理鋼板 1 と金型との焼き付きを防止する役割を有する。具体的に、密着層 1 1 0 は、表面処理皮膜 1 0 0 と鋼板 1 0 との界面に近い側に位置し、シラノール結合に起因する成分を、表面処理皮膜 1 0 0 を構成する 3 層のうちで最も多く含む。

## 【 0 0 8 1 】

ここで、本変形例におけるシラノール結合は、 $Si-O-X$ （ $X$  は、鋼板（素地）の構成成分である金属）で表され、表面処理皮膜 1 0 0 と鋼板 1 0 との界面近傍に形成される。このシラノール結合は、表面処理皮膜 1 0 0 を形成するための表面処理液中に含まれるシランカップリング剤と、鋼板 1 0 表面の金属（例えば、鋼板 1 0 にめっきが施された場

10

20

30

40

50



合には、めっきに含まれる金属種（Zn、Al等）、鋼板10にめっきが施されていない場合には、Feである）の酸化物との共有結合に対応していると推定される。また、シラノール結合の存在は、試料の深さ方向における元素分析が可能な方法（例えば、高周波グロー放電発光分光分析装置（高周波GDS）により、表面処理皮膜100の膜厚方向におけるシラノール結合に起因する成分（Si、X、O）元素のスペクトル強度から、各元素を定量することにより確認することができる。また、試料断面の直接観察（例えば、電界放射型透過電子顕微鏡（FE-TEM）を用いた観察方法）及び微小部元素分析（例えば、エネルギー分散型X線分光器（EDS）を用いた分析方法）からもシラノール結合の存在を確認することができる。

#### 【0082】

また、密着層110の厚みは、0.1nm以上かつ100nm以下であることが必要である。密着層110の厚みが0.1nm未満では、シラノール結合の形成が不十分であるため、表面処理皮膜100と鋼板10との間に十分な密着力が得られない。一方、密着層110の厚みが100nmを超えると、シラノール結合の数が多くなりすぎて、表面処理鋼板1の加工時において密着層110内の内部応力が高くなり、皮膜が脆くなるため、表面処理皮膜100と鋼板10との間の密着力が低下する。表面処理皮膜100と鋼板10との間の密着力をより確実に確保する観点からは、密着層110の厚みが、0.5nm以上かつ50nm以下であることが好ましい。

#### 【0083】

<ベース層120>

ベース層120は、冷間加工時における鋼板追従性を向上させ、金型との焼き付きに対する硬さおよび強度を表面処理鋼板1に付与する。また、このベース層120は、潤滑剤131及び潤滑剤層130を保持する。具体的には、ベース層120は、密着層110と潤滑剤層130との間に中間層として位置し、表面処理皮膜100を構成する3層のうちで耐熱樹脂および無機酸塩を最も多く含む。

#### 【0084】

ベース層120に含まれる成分として、無機酸塩が選択されると、本変形例のような傾斜型の3層構造の皮膜を形成することが可能であり、かつ、上述したベース層120の役割を十分に果たすことができる。なお、本変形例では、水系の表面処理液を用いて表面処理皮膜100を形成するため、この表面処理液の安定性を考慮し、本変形例における無機酸塩は水溶性であることが好ましい。ただし、無機酸塩が水に不溶または難溶性の塩であっても、例えば、酸に可溶性の塩であれば、表面処理液の安定性を考慮する必要がない。水に可溶性の無機酸塩（例えば、硝酸亜鉛）と酸（例えば、リン酸）とを組み合わせることで使用することにより、水に不溶または難溶性の塩（例えば、リン酸亜鉛）を含む皮膜を形成することができる。

#### 【0085】

以上のような役割から、本変形例における無機酸塩として、例えば、リン酸塩、ホウ酸塩、ケイ酸塩、硫酸塩、モリブデン酸塩、またはタングステン酸塩を、単独で、あるいは、複数組み合わせ使用することができる。より具体的には、無機酸塩として、例えば、リン酸亜鉛、リン酸カルシウム、硫酸ナトリウム、硫酸カリウム、ケイ酸カリウム、ホウ酸ナトリウム、ホウ酸カリウム、ホウ酸アンモニウム、モリブデン酸カリウム、モリブデン酸ナトリウム、タングステン酸カリウム、タングステン酸ナトリウム等を使用することができる。ただし、これらのうち、密着層100、ベース層120および潤滑剤層130の各層の厚みを測定する際の便宜等の理由から、特に、無機酸塩が、リン酸塩、ホウ酸塩およびケイ酸塩からなる群より選択される少なくとも1種の化合物であることがより好ましい。

#### 【0086】

また、ベース層120には、主成分として耐熱樹脂が含まれている。冷間加工時には、素材である表面処理鋼板1と金型との間の摩擦力により、表面処理鋼板1が比較的高温になるため、このような高温の加工条件下においても、表面処理皮膜100が皮膜としての

10

20

30

40

50

形状を維持する必要がある。このような観点から、本変形例における耐熱樹脂は、冷間加工時の到達温度（概ね200）を超える温度（例えば、200超かつ400以下の所定温度）で、皮膜形状を保持できる耐熱性を有することが好ましい。なお、本変形例では、水系の表面処理液を用いて表面処理皮膜100を形成するため、この表面処理液の安定性を考慮し、本変形例における耐熱樹脂は水溶性であることが好ましい。

#### 【0087】

以上のような役割から、本変形例における耐熱樹脂として、例えば、ポリイミド樹脂、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、フッ素樹脂等を使用できる。より高い耐熱性及び水溶性を確保するためには、耐熱樹脂として、特に、ポリイミド樹脂及びフッ素樹脂からなる群より選択される少なくとも1種の樹脂を使用することが好ましい。さらに、耐熱樹脂として、ポリイミド樹脂が使用されることがより好ましい。

10

#### 【0088】

また、ベース層120の組成も表面処理鋼板1の組成に影響を与える。そのため、本変形例では、表面処理皮膜100に加工追従性および耐熱性を付与するために、ベース層120が主成分として耐熱樹脂を含む。加えて、ベース層120では、例えば、燐酸塩、硼酸塩、ケイ酸塩、モリブデン酸塩、タングステン酸塩等の無機成分の含有量が耐熱樹脂の含有量よりも少なくなるように調整される。具体的には、ベース層120が、100質量部の耐熱樹脂に対して、0.1質量部以上かつ10質量部以下の無機酸塩を含む。無機酸塩の含有量が0.1質量部未満では、表面処理皮膜100の摩擦係数が上昇し、十分な潤滑性を得ることができない。一方、無機酸塩の含有量が100質量部を超えると、潤滑剤131を保持するベース層120の性能が十分に発揮されない。

20

#### 【0089】

また、ベース層120の厚みは、0.1 $\mu\text{m}$ 以上かつ15 $\mu\text{m}$ 以下であることが必要である。ベース層120の厚みが0.1 $\mu\text{m}$ 未満では、潤滑剤131を保持するベース層120の性能が十分に発揮されない。一方、ベース層120の厚みが15 $\mu\text{m}$ を超えると、ベース層120の厚みが大きくなりすぎるため、冷間加工時に押し込みキズなどが生じやすくなる。潤滑剤131を保持するベース層120の性能を向上させる観点から、ベース層120の厚みは0.5 $\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。また、加工時の押し込みキズをより確実に防止する観点から、ベース層120の厚みは3 $\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

30

#### 【0090】

##### <潤滑剤層130>

潤滑剤層130は、表面処理皮膜100の潤滑性を向上させ、摩擦係数を低減する役割を有する。具体的に、潤滑剤層120は、表面処理皮膜100の最表面に近い側に位置し、潤滑剤131を、表面処理皮膜100を構成する3層のうちで最も多く含む。

#### 【0091】

本変形例において、潤滑剤131は、傾斜型の3層構造を有する表面処理皮膜100を形成でき、かつ、表面処理皮膜100の潤滑性を十分に向上させることができれば特に限定されない。例えば、潤滑剤131として、ポリテトラフルオロエチレン、二硫化モリブデン、二硫化タングステン、酸化亜鉛およびグラファイトからなる群より選択される少なくとも1種の化合物を用いることができる。

40

#### 【0092】

また、潤滑剤層130の厚みは、0.1 $\mu\text{m}$ 以上かつ10 $\mu\text{m}$ 以下であることが必要である。潤滑剤層130の厚みが0.1 $\mu\text{m}$ 未満では、十分な潤滑性を得ることができない。一方、潤滑剤層130の厚みが10 $\mu\text{m}$ を超えると、加工時に余剰カスを生じ、この余剰カスが金型などに付着する不都合を生じる。より潤滑性を向上させる観点から、潤滑剤層130の厚みは1 $\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。また、加工時の余剰カスの発生をより確実に防止する観点から、潤滑剤層130の厚みは6 $\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

#### 【0093】

さらに、上述したベース層120の役割及び潤滑剤層130の役割を果たすためには、

50

潤滑剤層 130 とベース層 120 との厚みの比も重要である。具体的に、ベース層 120 の厚みに対する潤滑剤層 130 の厚みの比、すなわち、(潤滑剤層の厚み/ベース層の厚み)は、0.2 以上かつ 1.0 以下である必要がある。(潤滑剤層の厚み/ベース層の厚み)が 0.2 未満では、表面処理皮膜 100 (皮膜全体)が硬くなりすぎるため、潤滑性が十分に得られない。一方、(潤滑剤層の厚み/ベース層の厚み)が 1.0 を超えると、潤滑剤 131 の保持性が劣り、皮膜全体の加工追従性が不足する。

#### 【0094】

<層形成の確認方法、各層の膜厚の測定方法および決定方法>

以上説明したように、本変形例に係る表面処理鋼板 1 では、鋼板 10 に近い側の密着層 110、皮膜表面に近い側の潤滑剤層 130、これらの間のベース層 120 の3つの層を存在させることが重要である。これらの層のうち、いずれの層が欠けても、本変形例で意図している冷間加工に耐え得る潤滑性を発揮することが難しい。また、密着層 110、ベース層 120、潤滑剤層 130 の各層の厚みが上述した範囲内でない場合にも、本変形例で意図している冷間加工に耐え得る潤滑性を発揮することが難しい。従って、本変形例では、密着層 110、ベース層 120、潤滑剤層 130 の各層が形成されているかどうかを確認する方法、および、これら各層の厚みを測定する方法も重要である。

#### 【0095】

まず、密着層 110、ベース層 120、潤滑剤層 130 の各層の形成を確認する方法については、高周波 GDS を用いて表面処理皮膜 100 の膜厚方向(深さ方向)の元素の定量分析を行うことにより各層の形成を確認することができる。すなわち、まず、表面処理皮膜 100 に含まれる主成分(シラノール結合に起因する成分、無機酸塩、耐熱樹脂、潤滑剤)の代表元素(その成分にとって特徴的な元素)を設定する。例えば、シラノール結合に起因する成分については、Si を代表元素に設定するのが適当である。また、例えば、潤滑剤については、潤滑剤がポリテトラフルオロエチレンであれば、F を代表元素に設定し、潤滑剤が二硫化モリブデンであれば、Mo を代表元素に設定するのが適当である。次に、高周波 GDS の測定チャートにおいて、これらの代表元素に相当するピークの強度を求め、求めたピーク強度から、膜厚方向における位置ごとに各成分の濃度を算出する。

#### 【0096】

本変形例における各層の厚みの決定方法については、以下のように規定する。

まず、潤滑剤層 130 の厚みは、表面処理皮膜 100 の最表面から、高周波 GDS の測定チャートにおいて、上述したように設定した潤滑剤の代表元素(例えば、F、Mo、W、Zn、C)におけるピーク強度の最大値の 1/2 であるピーク強度を有する膜厚方向の位置(深さ)までの距離である。すなわち、潤滑剤層 130 とベース層 120 との界面は、潤滑剤の代表元素のピーク強度がピーク強度の最大値の 1/2 になる膜厚方向の位置と一致する。

#### 【0097】

また、密着層 110 の厚みは、表面処理皮膜 100 と鋼板 10 との界面から、高周波 GDS の測定チャートにおいて、シラノール結合に起因する成分の代表元素(Si)におけるピーク強度の最大値の 1/2 であるピーク強度を有する膜厚方向の位置(深さ)までの距離である。すなわち、密着層 110 とベース層 120 との界面は、シラノール結合に起因する成分の代表元素(Si)のピーク強度がピーク強度の最大値の 1/2 になる膜厚方向の位置と一致する。

#### 【0098】

さらに、ベース層 120 の厚みは、潤滑剤の代表元素におけるピーク強度の最大値の 1/2 であるピーク強度を有する位置から、シラノール結合に起因する成分の代表元素(Si)におけるピーク強度の最大値の 1/2 であるピーク強度を有する位置までの距離である。なお、例えば、表面処理皮膜 100 の断面を顕微鏡観察して表面処理皮膜 100 全体の厚みを求め、この表面処理皮膜 100 全体の厚みから、上記で求めた密着層 110 および潤滑剤層 130 の合計の厚みを減じて、ベース層 120 の厚みを求めてもよい。

#### 【0099】

ただし、潤滑剤 131 としてグラファイトを用いた場合には、潤滑剤層 130 とベース層 120 との界面を決定する代表元素に炭素 (C) を設定すると、潤滑剤 131 中の C と耐熱樹脂等に由来する C との区別が困難である。そのため、無機酸塩の代表元素 (例えば、P、B、Si) を用いて、潤滑剤層 130 の厚みを求める。この場合には、潤滑剤層 130 とベース層 120 との界面は、無機酸塩の代表元素のピーク強度がピーク強度の最大値の 1/2 になる膜厚方向の位置と一致する。

#### 【0100】

また、ベース層 120 の無機酸塩としてケイ酸塩を用いた場合には、ベース層 120 と密着層 110 との界面を決定する代表元素にケイ素 (Si) を設定すると、ケイ酸塩 (無機酸塩) 由来の Si と、密着層 110 のシラノール結合に起因する成分由来の Si との区別が困難である。そのため、ベース層 120 の耐熱樹脂成分由来の炭素 (C) を代表元素として用いて、密着層 110 およびベース層 120 の厚みを求める。さらに、ベース層 120 の無機酸塩としてモリブデン酸塩やタングステン酸塩を用いた場合には、潤滑剤層 130 とベース層 120 との界面を決定する代表元素にモリブデン (Mo) やタングステン (W) を設定すると、無機酸塩由来の Mo や W と、潤滑剤 131 由来の Mo や W との区別が困難である。そのため、潤滑剤 131 由来の硫黄 (S) を代表元素として用いて、ベース層 120 および潤滑剤層 130 の厚みを求める。

#### 【0101】

なお、各層の厚みの算出方法について、高周波 GDS によるスパッタ時間 (本変形例の場合は、SiO<sub>2</sub> のスパッタ速度で換算した時間) から、各成分の代表元素におけるピーク強度の最大値の 1/2 であるピーク強度を有する位置、すなわち、表面処理皮膜 100 の膜厚方向の位置を求めることができる。

#### 【0102】

さらに、本変形例では、ベース層 120 が、100 質量部の耐熱樹脂に対して 0.01 質量部以上かつ 10 質量部以下の無機酸塩を含む。このベース層 120 中の耐熱樹脂及び無機酸塩の質量を測定する方法は、以下の通りである。皮膜をマイクロトーム等により厚み方向に研削し、ベース層を削り出す。この皮膜を分析可能な量採取した後、メノウ乳鉢で粉碎する。粉碎後回収された皮膜の初期重量を測定後、水を添加して無機酸塩 (無機化合物) を溶解させる。無機酸塩を溶解させた後皮膜を十分に乾燥させる。乾燥後の皮膜重量を耐熱樹脂の質量部として決定し、初期重量と乾燥後の皮膜重量との差分を無機酸塩の質量部として決定する。

#### 【0103】

##### [ 表面処理鋼板の製造方法 ]

以上、表面処理鋼板の構成について詳細に説明した。続いて、このような構成を有する表面処理鋼板の製造方法について説明する。

#### 【0104】

この表面処理鋼板の製造方法では、水溶性シランカップリング剤、水溶性無機酸塩、水溶性耐熱樹脂および潤滑剤を含む水系の表面処理液を鋼板 10 (上述の実施形態の鋼板) の少なくとも片面に塗布した後、表面処理液を乾燥させることにより、鋼板 10 の少なくとも片面に表面処理皮膜 100 を形成する。

#### 【0105】

##### ( 表面処理液について )

表面処理鋼板の製造方法に用いる表面処理液は、水溶性シランカップリング剤、水溶性無機酸塩、水溶性耐熱樹脂および潤滑剤を含むが、無機酸塩、耐熱樹脂および潤滑剤の詳細については、上述したので、ここでは説明を省略する。

#### 【0106】

水溶性シランカップリング剤は、特に限定されず、公知のシランカップリング剤であってもよい。例えば、この水溶性シランカップリング剤として、3 - アミノプロピルトリメトキシシラン、N - 2 - (アミノメチル) - 3 - アミノプロピルメチルジメトキシシラン、3 - グリシドキシプロピルトリメトキシシラン、3 - グリシドキシプロピルトリエトキ

10

20

30

40

50

シラン等を使用することができる。

【0107】

また、上記表面処理液には、各種添加剤を添加してもよい。

【0108】

表面処理鋼板の製造方法に用いる表面処理液には、本変形例の効果を損なわない範囲で、塗工性を向上させるレベリング剤や水溶性溶剤、金属安定化剤、エッチング抑制剤および調整剤などを使用することが可能である。レベリング剤には、ノニオン系またはカチオン系の界面活性剤が使用できる。このレベリング剤として、例えば、ポリエチレンオキサイド、ポリプロピレンオキサイド付加物およびアセチレングリコール化合物などが挙げられる。水溶性溶剤として、例えば、エタノール、イソプロピルアルコール、*t*-ブチルアルコールおよびプロピレングリコールなどのアルコール類、エチレングリコールモノブチルエーテル、エチレングリコールモノエチルエーテルなどのセロソルブ類、酢酸エチル、酢酸ブチルなどのエステル類、アセトン、メチルエチルケトンおよびメチルイソブチルケトンなどのケトン類等が挙げられる。金属安定化剤として、例えば、EDTA、DTPAなどのキレート化合物が挙げられる。エッチング抑制剤として、例えば、エチレンジアミン、トリエチレンペンタミン、グアニジンおよびピリミジンなどのアミン化合物類が挙げられるが、特に、一分子内に2個以上のアミノ基を有するアミン化合物は、金属安定化剤としての効果も有するため、エッチング抑制剤としてこのようなアミン化合物を使用することがより好ましい。pH調整剤として、例えば、酢酸および乳酸などの有機酸類、フッ酸などの無機酸類、アンモニウム塩やアミン類などが挙げられる。

10

20

【0109】

上述した各成分を水中に均一に溶解あるいは分散させることにより、表面処理鋼板の製造方法に用いる表面処理液を調製することができる。

【0110】

(表面処理液の塗布および乾燥)

上記表面処理液の鋼板10への塗布方法として、例えば、鋼板10を表面処理液中に浸漬させる方法等を用いることができる。この場合、鋼板10を予め表面処理液の温度より高い温度に加熱しておくか、乾燥の際に温風で乾燥させることが必要である。具体的には、例えば、鋼板10を80程度の温水中に1分程度浸漬した後、40～60の温度の表面処理液に1秒程度浸漬し、その後、室温で2分程度乾燥させる。このような方法によって、密着層110、ベース層120および潤滑剤層130からなる3層構造の傾斜型の表面処理皮膜100を形成することができる。

30

【0111】

(各層の膜厚の制御方法)

表面処理皮膜100を構成する各層の膜厚は、表面処理液の塗布量、表面処理液中の各成分の濃度、表面処理液と素地である鋼板10との反応性、表面処理液の親水性/疎水性を適宜制御することにより、上述したような膜厚の範囲になるように調整することができる。

【0112】

(傾斜型の皮膜が形成される理由)

以上のように、水溶性シランカップリング剤、水溶性無機酸塩、水溶性耐熱樹脂および潤滑剤を水に溶解または分散させた表面処理液を鋼板10に塗布した後乾燥させることにより、傾斜型の表面処理皮膜100が形成される理由を、本発明者らは、以下のように推定している。まず、上記のように鋼板10を予め表面処理液の温度より高い温度に加熱しておく、鋼板10の温度が表面処理液の温度より高いので、表面処理液が鋼板10の上に塗布されて形成された薄膜内では、固液界面の温度が高く、気液界面の温度が低い。そのため、薄膜内に温度差が生じ、溶媒である水が揮発して、薄膜内に微小な対流が起きる。また、常温の鋼板10に常温の表面処理液を塗布して形成された薄膜を温風により乾燥する場合には、気液界面の温度が高くなり、気液界面における表面張力が低下し、温度変化と表面張力変化とを緩和するため、薄膜内に微小な対流が起こる。上記のいずれの塗布

40

50

乾燥方法の場合も、対流が起こるとともに、表面処理液が、空気との親和力の高い成分（例えば、潤滑剤）と、金属や水との親和力の高い成分（例えば、無機酸塩や耐熱樹脂）とに分離する。その後、徐々に水が揮発して表面処理液が膜状になり、各成分の濃度勾配を有する傾斜型の皮膜が形成される。

#### 【 0 1 1 3 】

また、本変形例において、シランカップリング剤は、鋼板 1 0 表面の金属との親和力が高いため、薄膜内で鋼板 1 0 の近傍へ拡散する。その後、鋼板 1 0 の近傍に到達したシランカップリング剤は、鋼板 1 0 の表面に存在する金属酸化物（例えば、鋼板 1 0 に亜鉛めっきが施されている場合には、酸化亜鉛）との間で共有結合を形成し、Si - O - Xで表されるシラノール結合が形成されると考えられる。このように、鋼板 1 0 の近傍にシラノール結合が形成されると、表面処理皮膜 1 0 0 と鋼板 1 0 との密着性が格段に向上するので、焼き付き及びカジリの発生が防止される。

10

#### 【 0 1 1 4 】

[ その他の表面処理方法との比較及び本変形例のまとめ ]

なお、冷間加工では、鋼板と金型との間の摩擦により、鋼板と金型との接触部分の温度が比較的高く（概ね 3 0 0 以上）なる。そのため、何も表面処理を施していない鋼板を冷間加工すると、鋼板と金型との間の潤滑性が十分でない場合には、鋼板と金型との間に焼き付きやカジリを生じやすくなる。この場合には、金型が局所的に破損したり、急激な摩耗が生じたりすることがあるため、金型の寿命が著しく短縮する場合もある。

#### 【 0 1 1 5 】

このような焼き付きやカジリを防止するため、通常、冷間加工のような冷間加工を行う鋼板の表面に潤滑性を付与する表面処理（以下、「潤滑処理」と称する場合もある。）を鋼板に施す。このような潤滑処理として、従来から、リン酸塩化合物（リン酸亜鉛、リン酸マンガン、リン酸カルシウム、リン酸鉄等）からなるリン酸塩皮膜を鋼板の表面に形成するリン酸塩処理（ボンデ処理）が知られている。

20

#### 【 0 1 1 6 】

リン酸塩処理された鋼板は、焼き付き防止性能及びカジリ防止性能が比較的高い。しかしながら、近年の環境対策を背景に、熱間鍛造及び切削加工などの形状変形の大きい加工分野から冷間加工への移行が進むにつれ、冷間加工用鋼板には、更に厳しい塑性加工を行うことが要求されている。このような観点から、リン酸塩皮膜上に金属石鹼（例えば、ステアリン酸ナトリウム等）からなる層を積層させた複合皮膜が広く用いられるようになっている。この複合皮膜は、冷間加工時の高面圧のプレスによる厳しい摩擦条件下においても、優れた焼き付き防止性能及びカジリ防止性能を有する。

30

#### 【 0 1 1 7 】

この潤滑処理により複合皮膜を形成すると、金属石鹼がリン酸塩皮膜と反応することにより高い潤滑性を発揮する。しかしながら、この潤滑処理は、洗浄工程や金属石鹼とリン酸塩皮膜とを反応させる反応工程（処理液の管理や反応時の温度管理等の工程管理も必要である。）等の多くの煩雑な処理工程を必要とし、また、バッチ処理であるため、生産性が低下するという問題がある。また、複合皮膜を用いた潤滑処理では、処理時に発生する廃液処理等の問題もあり、環境保全の観点からも好ましくない。

40

#### 【 0 1 1 8 】

一方、本変形例では、表面処理鋼板が、簡便な処理工程で、かつ、地球環境保全の観点からも好適な方法で製造可能であるとともに、優れた潤滑性を有する。従って、近年の環境対策を背景に、エネルギー消費量が多い熱間鍛造や多量の材料ロスが発生する切削加工などの形状変形の大きい加工分野から冷間加工へ加工方法を移行することができる。加えて、上述した表面処理鋼板を用いることにより、更に厳しい塑性加工や複雑な加工が要求される場合であっても、金型との焼き付きやカジリを発生することなく、材料（鋼板）を問題なく加工することができる。特に、厳しい冷間加工に対して好適に使用できる上述の実施形態の鋼板表面に、厳しい冷間加工に対して好適に使用できる表面処理皮膜を形成すると、素材である鋼板の加工性と表面処理皮膜の鋼板追従性との相乗効果（一体的な加工

50

性)を得ることができる。したがって、鋼板に冷間加工を行っても、金型の寿命を低下させることなく十分な加工性を確保することができる。さらに、本変形例の冷間加工用中炭素鋼板を冷間加工及び高周波焼入れに適用すれば、上記の相乗効果により優れた機械特性を有する部品を高い歩留りで製造でき、省資源化及び省エネルギー化が達成できる。

【0119】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【実施例】

【0120】

次に、本発明の実施例について説明するが、実施例の条件は、本発明の実施可能性及び効果を確認するために採用した一条件例であり、本発明は、この一条件例に限定されない。本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限りにおいて、種々の条件を採用し得る。

【0121】

表1に示す成分組成を有する鋼を、溶解、熱延、焼鈍して硬さと炭化物径と炭化物の球状化率とが異なる鋼板を製造し、冷間加工性と高周波焼入れ硬度とを調査した。以下に、この鋼板の製造方法を説明する。

板厚150mmの鋼塊(鑄片)を、1220で2hr保持後、圧延終了温度が870の条件で、板厚6mmの熱延鋼板が得られるように熱間圧延した。その後、この熱延鋼板を、表2~7に示す第一の平均冷却速度で第一の冷却温度まで冷却した後、表2~7に示す第二の平均冷却速度で第二の冷却温度まで冷却し、巻取った後空冷した。また、550から400まで30時間以下であることを確認した。

得られた各熱延鋼板から板厚方向に表層2.0mm、裏層2.0mmを切削し、板厚2mm(鋼No. A、B、C、K、Lに対応)のサンプルを得た。また、同様の製造条件の各熱延鋼板から表層0.5mm、裏層0.5mmを切削し、板厚5mm(鋼No. D、E、M、N、O、P、Qに対応)のサンプルを得た。

同様に、真空雰囲気下で溶製した板厚150mmの鋼塊を、1240で1.5hr保持後、圧延終了温度920度の条件で、板厚16mmの熱延鋼板が得られるように熱間圧延した。その後、この鋼板を、表2~7に示す第一の平均冷却速度で第一の冷却温度まで冷却した後、表2~7に示す第二の平均冷却速度で第二の冷却温度まで冷却し、巻取った後空冷した。また、550から400まで30時間以下であることを確認した。

上記の各熱延鋼板から表層3.5mm、裏層3.5mmを切削し、板厚9mm(鋼No. F、G、R、U、Vに対応)のサンプルを得た。また、同様の製造条件の熱延鋼板から表裏層の2.0mmを切削し、板厚12mm(鋼No. H、W、X、Yに対応)を得た。さらに、切削を施さない板厚16mm(鋼No. I、J、Z、AA、ABに対応)の熱延鋼板もサンプルとして用いた。

【0122】

各サンプルの $A_{c1}$ 温度を熱膨張試験にて測定した。ここでは、この熱膨張試験において実機の箱焼鈍炉に近い平均加熱速度30 / hrで加熱する際に、オーステナイト変態が開始した温度を $A_{c1}$ 温度として決定した。

各サンプル(鋼No. A~ABに対応)を水素95%雰囲気下でそれぞれ、680で3hr(表2に対応)、680で30hr(表3に対応)、700で30hr(表4に対応)、740で10hr(表5に対応)、700で90hr(表6に対応)、700で60hr(表7に対応)の6つの条件で焼鈍した。680及び700で焼鈍されたサンプルについては、保定(焼鈍)完了後炉冷した。740で焼鈍されたサンプルについては、保定完了後、700まで2 / 秒の平均冷却速度で冷却し、その後炉冷した。なお、例えば、680で3hr焼鈍されたサンプル(鋼板No. A-1~AB-

10

20

30

40

50

1) は、表 2 中に示され、鋼板 No. A - 1 ~ A B - 1 のサンプルは、それぞれ、鋼 No. A ~ A B の化学組成を有するサンプルから作製されている。

高周波焼入れ試験では、各サンプル(鋼板 No. A - 1 ~ A B - 6)を、周波数 78 kHz にて 750 以上を  $100 \pm 15$  / 秒の平均加熱速度で室温から  $1000 \pm 20$  まで昇温後、 $1000 \pm 20$  で  $10 \pm 0.5$  s 保持し、すぐさま 800 から 400 の間を  $200 \pm 10$  / 秒の平均冷却速度で室温まで急冷し、焼入れ材のビッカース硬度(焼入れ硬度)を測定した。また、各サンプルから幅 30 mm、長さ 100 mm の平板曲げ試験片を作製し、曲げ半径を板厚の 1 / 2、曲げ角度を 90° の条件にて曲げ試験を実施し、平板曲げサンプルの曲げ角部(最大曲率部)の板厚断面において板厚 1 / 8 ~ 3 / 8、5 / 8 ~ 7 / 8 の領域の亀裂数を走査型電子顕微鏡にて倍率 3000 倍で測定した。上記の亀裂数が  $1 \text{ mm}^2$  あたり 20 個以内である場合、冷間加工時における界面剥離に起因する亀裂発生が抑えられると判断できるため、冷間加工性が“良好”であると評価した。また、亀裂数が 20 個超である場合、冷間加工性が“不良”であると評価した。なお、これらの亀裂を種類(セメントイト起点の亀裂、硫化物起点の亀裂、粒内亀裂)毎に分類して集計した。セメントイト起点の亀裂と硫化物起点の亀裂とを区別するために、走査型電子顕微鏡に付属のエネルギー分散型 X 線分光器(EDS)を使用した。また、平均炭化物径及び炭化物の球状化率については、上述した方法で測定した。

【 0 1 2 3 】



【 表 1 】

表1

鋼 No.	成分(質量%)																備考				
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb	Ti	V	Ta	B		W	Sn	Sb	As
A	0.44	0.19	0.73	0.023	0.0061	0.014	0.004	0.007													実施例
B	0.42	0.23	0.54	0.013	0.0032	0.076	0.005	0.002	0.26	0.16	0.26	0.022									実施例
C	0.45	0.27	1.28	0.016	0.0042	0.094	0.005	0.031	0.22	0.48	0.48	0.006					0.47	0.022	0.005		実施例
D	0.49	0.22	1.01	0.014	0.0072	0.054	0.005	0.004													実施例
E	0.47	0.25	1.50	0.013	0.0029	0.054	0.007	0.064		0.32	0.42	0.019	0.12		0.008			0.020		0.013	実施例
F	0.41	0.30	0.58	0.018	0.0018	0.076	0.010	0.014	0.36			0.31	0.044	0.30	0.004		0.02	0.026			実施例
G	0.35	0.14	1.90	0.030	0.0054	0.009	0.009	0.064		0.33	0.14	0.40			0.009					0.029	実施例
H	0.58	0.10	1.81	0.012	0.0070	0.079	0.007	0.077	0.10			0.32	0.37		0.007		0.36	0.006	0.005	0.021	実施例
I	0.55	0.25	0.71	0.018	0.0005	0.082	0.008	0.086		0.21	0.01			0.33			0.01		0.023	0.005	実施例
J	0.32	0.24	0.39	0.021	0.0058	0.082	0.008	0.035		0.34	0.48	0.44		0.03	0.003		0.05			0.015	実施例
K	0.42	0.16	0.50	0.007	0.0080	0.057	0.004	0.088			0.69	0.09	0.048	0.01	0.008		0.38				比較例
L	0.49	0.26	0.18	0.026	0.0020	0.014	0.005	0.017													比較例
M	0.41	0.04	1.45	0.009	0.0016	0.006	0.004	0.051													比較例
N	0.22	0.21	0.81	0.027	0.0042	0.015	0.008	0.017													比較例
O	0.55	0.19	2.62	0.017	0.0073	0.017	0.004	0.009													比較例
P	0.56	0.28	2.37	0.011	0.0088	0.051	0.008	0.067		0.47		0.42	0.043		0.006		0.08		0.017		比較例
Q	0.55	0.03	0.64	0.028	0.0033	0.013	0.006	0.017		0.26	0.22			0.28	0.008					0.022	比較例
R	0.41	0.11	1.47	0.019	0.0095	0.043	0.011	0.131													比較例
U	0.63	0.23	1.66	0.012	0.0043	0.131	0.003	0.022	0.42		0.36			0.43	0.009			0.020		0.006	比較例
V	0.48	0.23	0.96	0.021	0.0120	0.009	0.010	0.065	0.82			0.044	0.30				0.25	0.017			比較例
W	0.64	0.19	0.87	0.014	0.0012	0.083	0.003	0.086													比較例
X	0.37	0.24	0.62	0.014	0.0076	0.022	0.005	0.036													比較例
Y	0.20	0.16	1.03	0.006	0.0048	0.009	0.002	0.089			0.42	0.59			0.003		0.30		0.022		比較例
Z	0.42	0.44	1.67	0.038	0.0007	0.071	0.001	0.095													比較例
AA	0.41	0.23	2.15	0.027	0.0029	0.020	0.002	0.128	0.06			0.078	0.17				0.42		0.014	0.017	比較例
AB	0.34	0.23	0.71	0.009	0.0014	0.054	0.009	0.003		0.37		0.14	0.003	0.87			0.08	0.011	0.017		比較例

\*表中の下線は、本発明の条件を満たさないことを示す。

\*表中の空欄は、無添加を意味する。

【 0 1 2 4 】

10

20

30

40

50

【 表 2 】

鋼板 No.	第一の平均冷却速度 (°C/s)	第一の冷却終了温度 (°C)	第二の平均冷却速度 (°C/s)	第二の冷却終了温度 (°C)	巻き取り後の鋼板が400°C以上に保持される時間 (hr)	板厚 (mm)	A <sub>c1</sub> (°C)	焼鈍硬さ (HV)	平均炭化物径 (μm)	(2)式の右辺 (μm)	球状化率 (%)	焼入れ硬度 (HV)	セメントナイト起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	硫化物起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	全亀裂数 (個/mm <sup>2</sup> )	冷間加工性	備考
A-1	20.8	555	18.3	463	14.2	2	720	168.4	0.16	-0.22	59.6	685.0	22.5	7.3	29.8	不良	比較例
B-1	29.1	616	11.8	342	11.8	2	728	166.6	0.14	1.11	92.7	477.4	3	1	4	良好	比較例
C-1	25.4	605	26.0	439	17.2	2	729	175.2	0.11	-0.30	57.5	707.0	26.5	1	27.5	不良	比較例
D-1	28.3	531	21.7	414	14.9	5	718	179.2	0.12	-0.24	58.9	721.8	24.1	15.2	39.3	不良	比較例
E-1	25.9	523	7.7	451	12.0	5	713	177.1	0.12	-0.29	57.8	714.6	26.1	1	27.1	不良	比較例
F-1	31.5	646	5.1	446	13.6	9	741	164.5	0.13	-0.27	58.3	678.2	28.1	1	26.3	不良	比較例
G-1	35.2	679	7.7	441	13.4	9	749	154.2	0.10	-0.36	55.9	653.6	27.7	3.2	30.9	不良	比較例
H-1	29.6	675	24.8	416	15.1	12	742	196.6	0.12	-0.36	56.1	771.6	27.6	13.8	41.4	不良	比較例
I-1	34.7	548	26.3	443	16.6	16	732	189.6	0.14	-0.23	59.3	745.3	23.2	1	24.2	不良	比較例
J-1	37.0	689	18.2	620	13.7	16	743	147.0	0.15	-0.20	60.1	608.9	21.2	5.4	26.6	不良	比較例
K-1	36.1	662	23.3	460	13.4	2	735	166.6	0.12	-0.23	59.2	484.3	24.9	19.5	43	不良	比較例
L-1	27.2	543	9.3	421	11.8	2	743	177.8	0.17	-0.24	59.0	482.5	23.9	1	24.9	不良	比較例
M-1	23.5	674	27.8	468	17.9	5	708	166.7	0.12	-0.26	58.4	679.7	41.8	1	42.8	不良	比較例
N-1	40.6	603	23.6	489	18.8	5	720	129.5	0.14	-0.26	58.5	483.2	24.9	1	25.9	不良	比較例
O-1	30.8	694	15.2	556	13.3	5	697	194.9	0.10	-0.34	56.5	490.9	27.4	15.8	43.2	不良	比較例
P-1	43.6	523	27.6	410	16.9	5	747	199.3	0.08	-0.38	55.5	473.2	27.8	22.3	50.1	不良	比較例
Q-1	38.1	657	16.2	461	19.5	5	725	189.0	0.15	-0.18	60.4	739.9	38.3	1	39.3	不良	比較例
R-1	39.8	567	28.1	448	14.9	9	710	164.2	0.14	-0.25	58.8	475.5	28.5	23.8	48.1	不良	比較例
U-1	45.0	679	10.8	410	16.8	9	727	205.9	0.14	-0.29	57.8	784.3	43.8	1	44.8	不良	比較例
V-1	37.8	622	10.1	546	13.9	9	749	176.8	0.14	-0.21	59.7	711.1	22.2	25.6	47.8	不良	比較例
W-1	29.3	696	26.4	490	18.4	12	720	207.8	0.12	-0.17	60.7	782.3	37.1	1	38.1	不良	比較例
X-1	28.7	550	22.1	454	14.0	12	728	156.3	0.14	-0.16	61.0	688.3	18.8	17.5	36.3	不良	比較例
Y-1	41.2	649	29.0	513	13.6	12	748	126.3	0.13	-0.26	58.5	493.7	24.9	1.5	26.4	不良	比較例
Z-1	47.8	635	21.4	450	10.3	16	714	167.6	0.13	-0.26	58.6	683.7	20.1	1	42.3	不良	比較例 粒内亀裂 21.2個/mm <sup>2</sup>
AA-1	42.0	612	5.1	538	13.4	16	728	166.4	0.09	-0.35	56.3	491.7	27.5	1	28.5	不良	比較例
AB-1	39.5	510	8.6	437	17.7	16	749	152.1	0.13	-0.22	59.6	488.4	22.5	1	23.5	不良	比較例

\*表中の下線は、本発明の条件または実施例における効果を満たさないことを示す。

表2

【 表 3 】

表3

鋼板 No.	第一の平均冷却速度 (°C/s)	第一の冷却終了温度 (°C)	第二の平均冷却速度 (°C/s)	第二の冷却終了温度 (°C)	巻き取り後の鋼板が400°C以上に保持される時間 (hr)	板厚 (mm)	A <sub>cl</sub> (°C)	焼純硬さ (HV)	平均炭化物径 (μm)	(2)式の右辺 (μm)	球状化率 (%)	焼入れ硬度 (HV)	セメントライト起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	炭化物起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	全亀裂数 (個/mm <sup>2</sup> )	冷間加工性	備考
A-2	45.1	633	12.7	434	17.1	2	720	166.0	0.19	0.42	75.5	631.7	3.3	7.3	10.6	良好	実施例
B-2	48.7	519	16.1	427	15.2	2	728	163.1	0.20	0.42	75.6	618.2	3.3	1	4.3	良好	実施例
C-2	40.3	552	19.1	467	16.2	2	729	167.9	0.17	0.32	72.9	648.6	3.6	1	4.6	良好	実施例
D-2	45.5	549	10.7	433	14.4	5	718	177.1	0.17	0.42	75.5	661.8	3.3	15.2	18.5	良好	実施例
E-2	24.0	582	12.5	573	12.4	5	713	174.2	0.15	-0.42	54.4	659.0	27.9	1	28.9	不良	比較例
F-2	35.3	651	22.5	526	18.9	9	741	162.8	0.18	0.43	75.8	615.0	6	1	4.2	良好	実施例
G-2	33.1	484	25.2	421	14.7	9	749	156.0	0.17	0.31	72.7	487.6	24.1	3.2	27.3	不良	比較例
H-2	38.6	724	13.0	509	14.9	12	742	193.3	0.27	0.23	70.8	718.6	21.4	13.8	35.2	不良	比較例
I-2	43.7	691	14.3	690	18.9	16	732	186.6	0.16	-0.32	57.1	696.8	27	1	28	不良	比較例
J-2	23.0	514	12.3	405	16.2	16	743	147.5	0.21	0.42	75.4	551.4	3.3	5.4	8.7	良好	実施例
K-2	34.5	694	24.1	563	11.4	2	735	164.2	0.18	0.33	73.2	429.3	5	19.5	23.1	不良	比較例
L-2	41.1	618	28.7	446	12.8	2	743	175.1	0.17	0.36	73.9	437.2	3.5	1	4.5	良好	比較例
M-2	25.2	579	18.5	461	15.5	5	708	163.2	0.17	0.35	73.7	625.2	24.1	1	25.1	不良	比較例
N-2	48.0	579	25.9	444	11.8	5	720	131.3	0.20	0.41	75.2	461.6	3.3	1	4.3	良好	比較例
O-2	36.8	675	11.2	446	17.4	5	697	193.0	0.11	0.27	71.7	443.6	3.9	15.8	19.7	良好	比較例
P-2	42.6	658	16.2	465	12.8	5	747	186.2	0.11	0.26	71.5	455.3	4	22.3	26.3	不良	比較例
Q-2	36.5	621	10.4	495	10.6	5	725	185.1	0.18	0.43	75.7	688.9	28.2	1	29.2	不良	比較例
R-2	31.5	548	28.8	419	10.9	9	710	164.3	0.16	0.30	72.4	430.9	8	23.8	27.6	不良	比較例
U-2	24.8	530	12.3	477	16.3	9	727	201.4	0.17	0.33	73.2	731.1	30.7	1	31.7	不良	比較例
V-2	38.4	546	16.2	420	14.9	9	749	174.6	0.18	0.40	74.9	657.5	3.3	25.6	28.9	不良	比較例
W-2	25.6	588	27.0	448	15.5	12	720	200.4	0.17	0.42	75.4	727.5	22.9	1	23.9	不良	比較例
X-2	41.9	614	19.3	544	20.0	12	728	154.6	0.22	0.39	74.8	589.2	3.3	17.5	20.8	不良	比較例
Y-2	40.7	594	15.1	518	20.0	12	748	127.9	0.16	0.34	73.5	450.8	3.5	1.5	5	良好	比較例
Z-2	30.6	649	5.1	432	18.9	16	714	165.8	0.13	0.35	73.7	638.3	1.8	1	23	不良	比較例 粗内亀裂 20.2個/mm <sup>2</sup>
AA-2	32.8	653	12.5	422	13.0	16	728	162.9	0.12	0.29	72.2	460.8	3.8	1	4.8	良好	比較例
AB-2	44.8	541	24.7	410	15.0	16	749	152.3	0.17	0.40	75.1	474.7	3.3	1	4.3	良好	比較例

\*表中の下線は、本発明の条件または実施例における効果を満たさないことを示す。

【 0 1 2 6 】

10

20

30

40

50

【 表 4 】

表 4

鋼板 No.	第一の平均冷却速度 (°C/s)	第一の冷却終了温度 (°C)	第二の平均冷却速度 (°C/s)	第二の冷却終了温度 (°C)	巻き取り後の鋼板が 400°C以上保持される時間 (hr)	板厚 (mm)	A <sub>1</sub> (°C)	焼鈍硬さ (HV)	平均炭化物径 (μm)	(2)式の右辺 (μm)	球状化率 (%)	焼入れ硬さ (HV)	セメントライト起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	硫化物起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	全亀裂数 (個/mm <sup>2</sup> )	冷間加工性	備考
A-3	22.1	521	20.6	411	11.1	2	720	157.5	0.32	0.96	88.9	577.2	3	7.3	10.3	良好	実施例
B-3	35.9	637	38.7	502	15.0	2	728	156.5	0.31	1.05	91.2	469.7	3	1	4	良好	比較例
C-3	26.4	543	15.2	441	14.6	2	729	163.9	0.25	0.92	88.1	604.4	3	1	4	良好	実施例
D-3	62.3	570	7.5	501	19.2	5	718	165.5	0.30	1.02	90.5	489.7	3	15.2	18.2	良好	実施例
E-3	49.3	699	5.3	578	11.2	5	713	170.5	0.43	0.47	76.8	624.5	3.2	1	4.2	良好	実施例
F-3	73.4	679	24.6	403	17.8	9	741	153.5	0.33	1.09	92.2	470.2	5.8	1	4	良好	比較例
G-3	24.3	514	14.8	414	16.8	9	749	151.2	0.19	0.90	87.4	558.8	3	3.2	6.2	良好	実施例
H-3	48.3	608	17.5	503	15.3	12	742	188.9	0.18	0.92	87.9	676.6	3	13.8	16.8	良好	実施例
I-3	21.3	530	8.6	425	13.1	16	732	175.8	0.27	0.96	89.1	646.0	3	1	4	良好	実施例
J-3	46.3	574	24.3	460	18.0	16	743	142.1	0.30	0.98	89.4	505.8	3	5.4	8.4	良好	実施例
K-3	49.4	545	25.1	426	14.7	2	735	159.3	0.27	0.92	87.9	419.4	4.4	19.5	22.5	不良	比較例
L-3	20.2	669	16.6	615	13.1	2	743	162.3	0.33	0.98	89.5	426.1	3	1	4	良好	比較例
M-3	49.0	698	18.1	488	15.6	5	708	158.8	0.24	0.83	85.8	584.4	23.9	1	24.9	不良	比較例
N-3	49.4	681	14.4	468	15.1	5	720	131.5	0.32	0.97	89.3	407.6	3	1	4	良好	比較例
O-3	28.0	563	23.7	502	14.9	5	697	192.8	0.13	0.82	85.5	410.3	3	15.8	18.8	良好	比較例
P-3	45.2	687	29.2	606	14.5	5	747	172.5	0.22	0.81	85.2	426.7	3	22.3	25.3	不良	比較例
Q-3	21.7	677	15.6	612	17.9	5	725	175.2	0.29	0.92	87.9	639.6	28.2	1	29.2	不良	比較例
R-3	31.2	606	24.0	537	12.6	9	710	160.3	0.21	0.97	89.3	386.6	7.2	23.8	26.8	不良	比較例
U-3	44.5	694	18.8	429	13.1	9	727	192.1	0.23	0.97	89.3	687.8	30.7	1	31.7	不良	比較例
V-3	47.4	700	13.1	440	15.0	9	749	164.7	0.28	0.94	88.4	614.9	3	25.6	28.6	不良	比較例
W-3	48.3	693	12.8	413	12.8	12	720	187.6	0.29	1.00	90.1	478.8	22.8	1	23.8	不良	比較例
X-3	35.9	564	8.3	483	19.8	12	728	146.9	0.34	0.97	89.2	552.8	3	17.5	20.5	不良	比較例
Y-3	27.8	696	14.5	421	9.0	12	748	128.8	0.23	0.96	88.9	405.6	3	1.5	4.5	良好	比較例
Z-3	45.4	684	8.5	623	14.7	16	714	162.5	0.22	0.82	85.4	595.9	1.1	1	22.4	不良	比較例 粒内亀裂 20.3個/mm <sup>2</sup>
AA-3	43.3	687	8.2	547	17.1	16	728	158.1	0.24	0.88	86.9	451.2	3	1	4	良好	比較例
AB-3	35.1	696	16.3	621	17.4	16	749	144.6	0.30	0.89	87.3	432.5	3	1	4	良好	比較例

\*表中の下線は、本発明の条件または実施例における効果を満たさないことを示す。

【 表 5 】

表5

鋼板 No.	第一の平均冷却速度 (°C/s)	第一の冷却終了温度 (°C)	第二の平均冷却速度 (°C/s)	第二の冷却終了温度 (°C)	焼き取り後の鋼板が400°C以上に保持される時間 (hr)	板厚 (mm)	A <sub>s1</sub> (°C)	焼鈍硬さ (HV)	平均炭化物径 (μm)	(2)式の右辺 (μm)	球状化率 (%)	焼入れ硬さ (HV)	セメントナイト起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	硫化物起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	全亀裂数 (個/mm <sup>2</sup> )	冷間加工性	備考
A-4	36.0	615	15.3	494	17.4	2	720	136.1	0.61	1.36	98.9	477.5	3	7.3	10.3	良好	比較例
B-4	31.6	648	7.5	554	13.7	2	728	137.2	0.62	1.38	99.4	462.4	3	1	4	良好	比較例
C-4	37.6	694	6.6	622	18.5	2	729	146.3	0.49	1.26	96.5	454.2	3	1	4	良好	比較例
D-4	24.8	671	15.0	451	11.2	5	718	139.9	0.59	1.32	98.1	450.3	3	15.2	18.2	良好	比較例
E-4	24.1	662	9.2	525	9.6	5	713	155.1	0.47	1.27	96.8	479.8	3	1	4	良好	比較例
F-4	45.6	689	17.0	454	13.2	9	741	136.1	0.63	1.32	98.0	465.2	3	3.2	6.2	良好	比較例
G-4	47.2	630	10.9	557	17.7	9	749	147.4	0.32	1.29	97.3	484.5	3	13.8	16.8	良好	比較例
H-4	29.3	726	20.9	540	15.2	12	742	171.7	0.34	1.26	96.6	493.0	3	1	4	良好	比較例
I-4	35.3	642	18.2	410	10.8	16	732	145.6	0.56	1.35	98.8	483.4	3	5.4	8.4	良好	比較例
J-4	40.3	599	6.7	502	11.3	16	743	134.2	0.64	1.38	99.6	397.5	3	19.5	22.5	不良	比較例
K-4	28.3	612	5.4	469	18.8	2	735	143.3	0.52	1.39	99.8	381.0	3	1	4	良好	比較例
L-4	36.4	678	17.5	434	15.3	2	743	136.3	0.64	1.38	99.6	389.7	3	1	4	良好	比較例
M-4	32.5	653	17.2	527	14.4	5	708	144.8	0.48	1.28	96.9	492.3	3	24.2	25.2	不良	比較例
N-4	26.5	676	29.2	423	15.6	5	720	131.0	0.58	1.29	97.3	318.0	3	1	4	良好	比較例
O-4	37.3	620	18.7	473	16.0	5	697	187.4	0.17	1.15	93.7	365.3	3	15.8	18.8	良好	比較例
P-4	42.1	628	13.8	502	14.3	5	747	161.3	0.43	1.17	94.2	419.7	3	22.3	25.3	不良	比較例
Q-4	28.5	632	21.0	499	15.7	5	725	143.6	0.57	1.30	97.5	484.1	3	1	29.3	不良	比較例
R-4	44.4	698	8.4	509	17.4	9	710	149.4	0.42	1.30	97.4	303.6	7.2	23.8	26.8	不良	比較例
U-4	37.9	676	20.3	574	14.9	9	727	164.7	0.44	1.23	95.7	479.6	30.7	1	31.7	不良	比較例
V-4	24.2	694	7.5	461	16.9	9	749	145.6	0.53	1.34	98.4	456.3	3	25.6	28.6	不良	比較例
W-4	30.0	526	22.9	410	15.7	12	720	149.5	0.56	1.37	99.2	449.4	24.2	1	25.2	不良	比較例
X-4	49.1	545	23.5	407	13.2	12	728	131.6	0.66	1.39	99.7	423.5	3	17.5	20.5	不良	比較例
Y-4	35.8	524	13.6	471	16.8	12	748	129.6	0.44	1.31	97.7	323.1	3	1.5	4.5	良好	比較例
Z-4	26.3	547	28.4	438	13.1	16	714	149.2	0.41	1.23	95.7	455.9	1.2	1	22.8	不良	比較例 粒内亀裂 20.6個/mm <sup>2</sup>
AA-4	42.1	501	18.6	411	13.9	16	728	147.2	0.47	1.25	96.3	444.7	3	1	4	良好	比較例
AB-4	28.5	585	24.5	487	10.1	16	749	134.8	0.60	1.30	97.5	421.6	3	1	4	良好	比較例

\*表中の下線は、本発明の条件または実施例における効果を満たさないことを示す。

【 0 1 2 8 】

10

20

30

40

50

【 表 6 】

表6

【 0 1 2 9 】

鋼板 No.	第一の平均冷却速度 (°C/s)	第一の冷却終了温度 (°C)	第二の平均冷却速度 (°C/s)	第二の冷却終了温度 (°C)	巻き取り後の鋼板が400°C以上に保持される時間 (hr)	板厚 (mm)	A <sub>01</sub> (°C)	焼鈍硬度 (HV)	平均炭化物径 (μm)	(2)式の石刃 (μm)	球状化率 (%)	焼入れ硬度 (HV)	セメントナイト起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	炭化物起点の亀裂 (個/mm <sup>2</sup> )	全亀裂数 (個/mm <sup>2</sup> )	冷加工性	備考
A-5	18.5	660	15.5	479	19.5	2	720	139.6	0.63	0.98	89.6	463.3	3	7.3	10.3	良好	比較例
B-5	45.7	640	19.8	430	16.9	2	728	140.6	0.56	0.97	89.2	535.6	3	1	4	良好	実施例
C-5	29.9	532	27.6	444	16.1	2	729	149.7	0.53	0.94	88.5	565.6	3	1	4	良好	実施例
D-5	31.2	641	3.6	459	8.1	5	718	142.8	0.62	0.86	86.4	436.8	3	15.2	18.2	良好	比較例
E-5	29.9	578	18.4	483	15.6	5	713	158.5	0.46	0.84	86.0	587.9	3	1	4	良好	実施例
F-5	46.9	506	9.4	434	17.2	9	741	139.5	0.52	0.92	87.9	582.4	5.8	1	4	良好	実施例
G-5	29.9	735	21.9	692	15.3	9	749	149.6	0.44	0.40	74.9	515.5	22.6	3.2	25.8	不良	比較例
H-5	21.0	562	13.8	403	15.5	12	742	174.5	0.37	0.94	88.5	642.5	3	13.8	16.8	良好	実施例
I-5	22.6	599	21.7	470	13.3	16	732	149.3	0.58	0.99	89.8	590.7	3	1	4	良好	実施例
J-5	41.8	524	2.1	413	18.0	16	743	137.6	0.67	0.59	79.8	454.8	22.6	5.4	28	不良	比較例
K-5	48.0	653	5.4	493	15.7	2	735	146.0	0.54	0.94	88.6	375.1	4.4	19.5	22.5	不良	比較例
L-5	22.6	630	27.7	576	14.7	2	743	141.3	0.67	1.01	90.2	392.2	3	1	4	良好	比較例
M-5	40.4	578	14.6	446	14.0	5	708	147.1	0.52	0.84	86.1	552.0	23.9	1	24.9	不良	比較例
N-5	49.6	590	23.2	471	15.3	5	720	133.3	0.61	0.99	89.8	364.4	3	1	4	良好	比較例
O-5	36.1	534	8.5	457	19.4	5	697	192.0	0.21	0.84	86.1	356.9	3	15.8	18.8	良好	比較例
P-5	28.1	694	18.8	642	18.3	5	747	163.8	0.47	0.83	83.8	396.6	3	22.3	25.3	不良	比較例
Q-5	35.8	518	21.8	407	17.4	5	725	145.9	0.62	0.94	88.6	603.8	28.2	1	29.2	不良	比較例
R-5	30.5	541	13.9	445	13.2	9	710	153.8	0.46	1.00	90.1	351.2	7.2	23.8	26.8	不良	比較例
U-5	24.6	685	21.8	446	10.8	9	727	167.1	0.46	0.99	89.7	632.7	30.7	1	31.7	不良	比較例
V-5	48.4	557	7.5	446	14.8	9	749	148.4	0.56	0.95	88.8	583.9	3	25.6	28.6	不良	比較例
W-5	32.9	679	17.2	598	14.4	12	720	153.7	0.59	1.11	92.7	433.6	22.8	1	23.8	不良	比較例
X-5	40.7	589	29.6	503	16.3	12	728	133.7	0.59	0.99	89.8	527.9	3	17.5	20.5	不良	比較例
Y-5	40.1	697	19.0	517	15.7	12	748	132.9	0.47	0.98	89.4	366.0	3	1.5	4.5	良好	比較例
Z-5	48.3	550	17.3	494	16.7	16	714	152.7	0.44	0.84	86.0	561.0	1.1	1	22.4	不良	比較例 粒内亀裂 20.3個/mm <sup>2</sup>
AA-5	39.8	535	6.5	436	14.5	16	728	150.3	0.51	0.89	87.3	417.1	3	1	4	良好	比較例
AB-5	45.0	520	13.7	422	14.2	16	749	139.5	0.64	0.91	87.8	391.7	3	1	4	良好	比較例

\*表中の下線は、本発明の条件または実施例における効果を満たさないことを示す。

【 表 7 】

表7

鋼板 No.	第一の 平均冷却 速度 (°C/s)	第一の 冷却終了 温度 (°C)	第二の 平均冷却 速度 (°C/s)	第二の 冷却終了 温度 (°C)	巻き取り後の鋼板が 400°C以上に 保持される時間 (hr)	板厚 (mm)	A <sub>01</sub> (°C)	焼鈍 硬さ (HV)	平均 炭化物 径 (μm)	(2)式の 右辺 (μm)	球状化率 (%)	焼入れ 硬さ (HV)	セメント 炭化物 起点の 数/mm <sup>2</sup>	硫化物 起点の 数/mm <sup>2</sup>	全亀裂数 (個/mm <sup>2</sup> )	冷間 加工性	備考
A-6	49.7	719	10.8	596	19.8	2	720	145.8	0.49	0.15	98.7	510.1	5.3	7.3	12.6	不良	比較例
B-6	16.5	505	15.8	434	16.0	2	728	145.6	0.63	0.99	89.8	445.3	3	1	4	良好	比較例
C-6	35.3	696	6.2	658	16.0	2	729	153.9	0.55	0.52	78.1	573.6	23.2	1	24.2	不良	比較例
D-6	39.2	463	10.5	405	16.5	5	718	151.2	0.75	0.96	88.9	456.9	3	15.2	18.2	良好	比較例
E-6	49.5	507	9.7	455	14.2	5	713	161.8	0.45	0.76	84.1	596.2	3	1	4	良好	実施例
F-6	35.4	691	32.1	591	14.2	9	741	144.0	0.48	1.02	90.6	442.1	5.8	1	4	良好	比較例
G-6	34.4	533	15.8	426	15.7	9	749	147.4	0.27	0.84	86.0	528.1	3	3.2	6.2	良好	実施例
H-6	49.0	576	23.0	475	16.6	12	742	178.6	0.28	0.86	86.5	647.4	3	13.8	16.8	良好	実施例
I-6	38.5	526	26.2	471	20.2	16	732	160.4	0.30	0.33	73.2	606.9	3.6	1	4.6	良好	実施例
J-6	23.0	653	20.5	362	15.6	16	743	137.1	0.49	1.32	98.0	471.3	3	5.4	8.4	良好	比較例
K-6	31.6	649	15.1	464	16.1	2	735	150.1	0.40	0.86	86.5	390.7	4.4	19.5	22.5	不良	比較例
L-6	42.7	534	18.3	465	10.6	2	743	149.0	0.50	0.92	88.1	401.8	3	1	4	良好	比較例
M-6	48.9	549	24.5	438	10.7	5	708	150.3	0.38	0.77	84.2	556.9	23.9	1	24.9	不良	比較例
N-6	45.3	522	12.8	427	14.0	5	720	129.8	0.46	0.91	87.8	380.2	3	1	4	良好	比較例
O-6	41.4	642	26.9	485	14.8	5	697	188.6	0.17	0.76	84.1	377.1	3	15.8	18.8	良好	比較例
P-6	23.8	609	21.9	409	15.7	5	747	165.0	0.34	0.75	83.8	405.2	3	22.3	25.3	不良	比較例
Q-6	43.0	515	13.7	422	16.3	5	725	157.5	0.46	0.86	86.5	609.6	28.2	1	29.2	不良	比較例
R-6	27.7	525	10.8	414	15.4	9	710	154.3	0.34	0.92	87.9	362.3	7.2	23.8	26.8	不良	比較例
U-6	39.6	506	18.1	428	12.8	9	727	177.0	0.34	0.91	87.7	650.0	30.7	1	31.7	不良	比較例
V-6	21.5	624	20.7	510	16.0	9	749	153.9	0.42	0.87	86.8	589.1	3	25.6	28.6	不良	比較例
W-6	33.8	627	26.7	544	19.0	12	720	169.0	0.45	0.99	89.7	449.0	22.8	1	23.8	不良	比較例
X-6	44.4	543	21.4	408	12.6	12	728	137.9	0.52	0.99	89.7	535.1	3	17.5	20.5	不良	比較例
Y-6	22.5	678	10.0	621	14.3	12	748	128.2	0.35	0.90	87.4	380.1	3	1.5	4.5	良好	比較例
Z-6	34.0	680	17.7	579	13.0	16	714	154.7	0.33	0.76	84.0	566.9	1.2	1.1	22.4	不良	比較例 粒内亀裂 20.1個/mm <sup>2</sup>
AA-6	23.8	532	10.4	478	11.7	16	728	151.5	0.38	0.82	85.4	426.2	3	1	4	良好	比較例
AB-6	38.8	698	25.3	547	16.6	16	749	139.4	0.47	0.83	85.8	405.9	3	1	4	良好	比較例

\*表中の下線は、本発明の条件または実施例における効果を満たさないことを示す。

表3、4、6及び7中の鋼板No. A-2~D-2、F-2、J-2、A-3、C-3、E-3、G-3~J-3、B-5、C-5、E-5、F-5、H-5、I-5、E-6及びG-6~I-6では、平均炭化物径及び炭化物の球状化率が適切に制御され、冷間加工性および高周波焼入れ硬化能(焼入れ硬度)が優れていた。

#### 【0131】

一方、表2中の鋼板No. A-1~AB-1では、焼鈍時間が短く、炭化物の球状化が70%未満であったため、冷間加工性が十分でなかった。また、表5中の鋼板No. A-4~AB-4では、炭化物の球状化率が90%を超えており、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。表4中の鋼板No. D-3、F-3では、第一の平均冷却速度が50 /秒を超えていたため、熱延鋼板中のベイナイトから90%以上の球状化率の炭化物を生じ、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。さらに、表6及び表7中の鋼板No. A-5及びB-6では、第一の平均冷却速度が20 /秒未満であったため、平均炭化物径が0.6 μmを超えており、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。表5及び表7中の鋼板No. H-4及びA-6では、第一の冷却終了温度が700 を超えていたため、スケールによる疵が発生した。表3及び表6中の鋼板No. H-2及びG-5では、第一の冷却終了温度が700 を超えていたため、平均炭化物径と球状化率とが上記(2)式を満足せず、冷間加工性が十分でなかった。表3及び表7中の鋼板No. G-2及びD-6では、第一の冷却終了温度が500 未満であったため、平均炭化物径が0.6 μmを超えており、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。この場合、熱間圧延後に加工歪が付与されたオーステナイトが多く存在し、冷却時にこれらのオーステナイトから粗大なパーライトが優先的に生成していると考えられる。表4及び表7中の鋼板No. B-3及びF-6では、第二の平均冷却速度が30 /秒を超えていたため、90%以上の球状化率の炭化物を生じ、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。表6中の鋼板No. D-5、J-5では、第二の平均冷却速度が5 /秒未満であったため、平均炭化物径が0.6 μmを超えており、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。表3中の鋼板No. E-2、I-2では、第二の冷却終了温度が、第一の冷却終了温度よりも50 低い温度よりも高いため、炭化物の球状化が70%未満であり、冷間加工性が十分でなかった。表7中の鋼板No. C-6では、第二の冷却終了温度が、第一の冷却終了温度よりも50 低い温度よりも高いため、平均炭化物径と球状化率とが上記(2)式を満足せず、冷間加工性が十分でなかった。表7中の鋼板No. J-6では、第二の冷却終了温度が400 未満であったため、90%以上の球状化率の炭化物を生じ、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。

#### 【0132】

表3、4、6及び7中の鋼板No. K-2、K-3、K-5及びK-6では、Mo量が0.5質量%超であったため、高周波加熱時に炭化物が十分に溶解せず、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。鋼板No. L-2、L-3、L-5及びL-6では、Mn量が0.3質量%未満であったため、鋼の焼入れ性が低下し、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。鋼板No. M-2、Q-2、M-3、Q-3、M-5、Q-5、M-6及びQ-6では、Si量が0.06%未満であったため、上述の界面剥離が生じ、冷間加工性が十分でなかった。鋼板No. N-2、Y-2、N-3、Y-3、N-5、Y-5、N-6及びY-6では、C量が0.3%未満であったため、鋼の焼入れ性が低下し、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。鋼板No. O-2、P-2、O-3、P-3、O-5、P-5、O-6及びP-6では、Mn量が2.0%超であったため、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。鋼板No. R-2、AA-2、R-3、AA-3、R-5、AA-5、R-6及びAA-6では、Cr量が0.10%超であったため、高周波加熱時に炭化物が十分に溶解せず、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。鋼板No. U-2、W-2、U-3、W-3、U-5、W-5、U-6及びW-6では、C量が0.6%を超えていたため、冷間加工性が低下した。鋼板No. V-2、X-2、V-3、X-3、V-5、X-5、V-6及びX-6では、S量が0.0075%を超えていたため、冷間加工性が十分でなかった。鋼板No. Z-2、Z-3、Z-5及びZ-6では、Si量が0.30%を超え、P量が0.03%を超えていたため、冷間加工性が十分でなかった。鋼板No. AB-2

10

20

30

40

50



、A B - 3、A B - 5 及び A B - 6 では、V 量が 0.5% を超えていたため、高周波焼入れ硬化能が十分でなかった。

【0133】

さらに、冷間加工に対して好適に使用できる表面処理皮膜（表面皮膜を有する冷間加工用中炭素鋼板）について、実施例を用いてより具体的に説明する。

【0134】

（表面処理液の調製）

まず、下記の表 8 に示す成分を含有した表面処理液（薬剤）a ~ q を調製した。なお、表 8 中で、無機酸塩として硝酸亜鉛とリン酸との組み合わせを使用している理由は、リン酸亜鉛が水に極めて溶けにくく、酸に溶解するためである。このように、水に可溶性の硝酸亜鉛とリン酸とを組み合わせることにより、水に難溶性のリン酸亜鉛を生成し、表面処理液中に存在させることができる。

【0135】

【表 8】

表 8

薬剤	シランカップリング剤		無機化合物		酸		有機化合物		潤滑剤		pH
	種類	添加量 (g/L)	種類	添加量 (g/L)	種類	添加量 (g/L)	種類	添加量 (g/L)	種類	添加量 (g/L)	
a	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	120	リン酸	3	ポリアミンイミド樹脂	120	MoS <sub>2</sub>	20	4
b	N-2-(アミノエチル)-3-アミノプロピルメチルジメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	30	リン酸	3	ポリアミンイミド樹脂	150	MoS <sub>2</sub>	20	4
c	N-2-(アミノエチル)-3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	60	リン酸	3	ポリアミンイミド樹脂	150	MoS <sub>2</sub>	20	4
d	N-2-(アミノエチル)-4-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	モリブデン酸カリウム	60	リン酸	3	ポリアミンイミド樹脂	150	PTFE	20	4
e	N-2-(アミノエチル)-5-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	モリブデン酸カリウム	60	リン酸	3	ポリアミンイミド樹脂	150	ZnO	20	4
f	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	60	リン酸	3	ポリエステル樹脂	150	MoS <sub>2</sub>	220	4
g	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	60	リン酸	3	エポキシ樹脂	150	MoS <sub>2</sub>	20	4
h	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	40	リン酸	3	エポキシ樹脂	4.3	グラファイト	20	4
i	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	ケイ酸カリウム	1	-	-	ポリアミンイミド樹脂	100	MoS <sub>2</sub>	20	4
j	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	モリブデン酸カリウム	40	-	-	フッ素樹脂	40	MoS <sub>2</sub>	200	4
k	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	タングステン酸カリウム	40	-	-	フッ素樹脂	100	MoS <sub>2</sub>	20	4
l	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	1	硝酸亜鉛	120	リン酸	3	ポリアミンイミド樹脂	120	グラファイト	20	4
m	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	100	硝酸亜鉛	12	リン酸	3	ポリアミンイミド樹脂	12	グラファイト	20	4
n	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	1	リン酸	0.5	ポリアミンイミド樹脂	150	MoS <sub>2</sub>	20	4
o	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	150	リン酸	50	ポリアミンイミド樹脂	1.5	MoS <sub>2</sub>	20	4
p	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	60	リン酸	3	ポリアミンイミド樹脂	150	MoS <sub>2</sub>	2	4
q	3-アミノプロピルトリメトキシシラン	12	硝酸亜鉛	5	リン酸	1	ポリアミンイミド樹脂	5	MoS <sub>2</sub>	150	4

【0136】

（表面皮膜鋼板の製造）

次に、上記のようにして調製した表面処理液 a ~ q を用いて、以下の方法により、傾斜型の 3 層構造の表面処理皮膜が板の両面に形成された表面処理鋼板（No. 1 ~ 29）を製造した（下記表 10 を参照）。

【0137】

10

20

30

40

50

これらの表面処理鋼板の製造方法について具体的に説明する。表9に示す成分の鋼を通常の転炉 - 真空脱ガス処理により溶製し、鋼片を作製した。さらに、この鋼片を、1220で1時間保持後、圧延終了温度が870の条件で、板厚8mmの熱延鋼板が得られるように熱間圧延した。その後、この熱延鋼板を、670まで30/秒の平均冷却速度で冷却した後、560まで15/秒で冷却し、巻き取った。巻き取られた熱延鋼板を、さらに、400まで20時間かけて冷却した。得られた熱延鋼板を、水素95%雰囲気下において700で30hr焼鈍し、その後炉冷した。焼鈍された熱延鋼板(焼鈍鋼板)上に表面処理液a~qを塗装#3バー(塗装バー)にて塗布した。表面処理皮膜の膜厚を表面処理液の濃度で制御した。さらに、300の熱風乾燥炉中で到達板温度が150になる条件で表面処理液が塗布された焼鈍鋼板を乾燥した。乾燥後空冷して表面処理鋼板を作製した。

10

なお、表面処理を施す前の焼鈍鋼板から、板厚8mm×板幅15mm×板長100mmの焼入れサンプルを採取し、周波数78kHzにて100/秒の平均加熱速度で室温から1000まで昇温後、1000で10s保持し、すぐさま200/秒以上の平均冷却速度で室温まで急冷し、焼入れ材のビッカース硬度(焼入れ硬度)を測定した。さらに、焼鈍鋼板の平均炭化物径及び炭化物の球状化率について、上述した方法で測定した。その結果、平均炭化物径が0.31μm、球状化率が85.7%、高周波焼入れ後の硬度が638.7HVであることを確認した。

【0138】

【表9】

20

表9

鋼成分(質量%)							
C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cr
0.46	0.13	0.72	0.012	0.0051	0.018	0.0026	0.06

【0139】

(膜厚の測定)

得られた表面処理鋼板に対して、高周波GDSを用いて膜厚の測定を行った。詳細には、表面処理皮膜の最表面から、高周波GDSの測定チャートにおいて、潤滑剤の代表元素(Mo、Cなど)におけるピーク強度の最大値の1/2であるピーク強度を有する膜厚方向の位置(深さ)までの距離を測定し、潤滑剤層の厚みを決定した。また、表面処理皮膜と鋼板との界面から、高周波GDSの測定チャートにおいて、シラノール結合に起因する成分の代表元素(Si)におけるピーク強度の最大値の1/2であるピーク強度を有する膜厚方向の位置(深さ)までの距離を測定し、密着層の厚みを決定した。さらに、潤滑剤の代表元素(Mo)におけるピーク強度の最大値の1/2であるピーク強度を有する位置から、シラノール結合に起因する成分の代表元素(Si)におけるピーク強度の最大値の1/2であるピーク強度を有する位置までの距離を測定(計算)し、ベース層の厚みを決定した。また、潤滑剤層(潤滑剤成分)とベース層(無機酸塩成分)の代表元素、および、ベース層(無機酸塩成分)と密着層(シラノール結合に起因する成分)の代表元素が同じにならないように、重複しない他の元素を代表元素として用いて測定した。

30

40

【0140】

例えば、潤滑剤としてグラファイトを用いた場合には、無機酸塩の代表元素(P、Si、Mo、W)のピーク強度を用いて潤滑剤層およびベース層の厚みを求めた。

【0141】

(評価方法および評価基準)

さらに、下記に示す評価方法および評価基準により、上記のように製造された表面処理鋼板の皮膜密着性および加工性を評価した。

【0142】

&lt;皮膜密着性の評価&gt;

50

平ビード金型を用いた引抜き摺動試験にて皮膜密着性を評価した。この引抜き摺動試験では、サイズ30×200mmでエッジの剪断バリを除去した試験片(サンプル)を表面処理鋼板から採取して使用した。なお、サンプルに対して摺動試験を行う前に、蛍光X線分析装置にて皮膜中の主な構成元素の強度(試験前強度)を測定した。

#### 【0143】

平ビード金型には、長さ40mm、幅60mm、厚み30mmで、材質がSKD11、表面が#1000のエメリペーパーで研磨された金型を1組準備した。次に、サンプルを、上記金型で挟み込み、エアシリンダーにて1000kgで押さえつけて、引っ張り試験機にてサンプルを引抜いた。引抜き後のサンプルについて、蛍光X線分析装置にて上述と同じ元素の強度(試験後強度)を測定し、その残存率を(試験後強度/試験前強度)×100[%]により算出した。

10

#### 【0144】

皮膜密着性の評価基準については、残存率が70%未満の場合を“不良”、残存率が70%以上かつ90%未満の場合を“良”、残存率が90%以上の場合を“優”と評価した。

#### 【0145】

##### <加工性の評価>

スパイク試験にて加工性を評価した。このスパイク試験では、まず、図7Aに示すロート状の内面形状を有するダイ3の上に、表面処理鋼板から作製された円柱状のスパイク試験片1A(図7Bに示す加工前のスパイク試験片1A)を載せる。その後、図7Aに示すプレート2を介してスパイク試験片1Aに対して荷重を掛け、スパイク試験片1Aを、ダイ3内に押し込んで、図7Bに示す加工後のスパイク試験片1Bの形状に成型する。このような方法で、ダイ形状に従うスパイクを形成し、この際のスパイク高さ(mm)により潤滑性を評価した。従って、スパイク高さが高くなるほど潤滑性が優れている。なお、スパイク試験の条件については、特開平5-7969号公報に開示された方法に準じた。

20

#### 【0146】

加工性の評価基準については、このスパイク高さを用いて評価し、スパイク高さが12.5mm未満の場合を“不良”、スパイク高さが12.5mm以上かつ13.5mm以下の場合を“良”、スパイク高さが13.5mm超の場合を“優”、と評価した。なお、“良”の評価は、従来の複合皮膜(化成反応/石鹸処理)を同様の鋼板に形成させて作製したサンプルの性能に相当する。

30

#### 【0147】

以上のように行った各層の厚さの測定結果と、皮膜密着性および加工性の評価結果とを表10に示す。

#### 【0148】

【表 10】

表10

No.	薬剤	密着層		ベース層		潤滑剤層		潤滑剤層/ ベース層 (-)	皮膜 密着性	冷間 加工性
		厚み (nm)	厚み ( $\mu\text{m}$ )	無機酸塩/ 耐熱樹脂 (-,質量比)	厚み ( $\mu\text{m}$ )	厚み ( $\mu\text{m}$ )	厚み ( $\mu\text{m}$ )			
1	a	10	4	1	1	1	0.25	優	優	
2	b	15	4	0.2	0.4	0.1	0.1	優	優	
3	c	10	4	0.4	1	0.25	0.25	優	優	
4	c	12	0.2	0.4	0.1	0.5	0.5	優	良	
5	c	13	15	0.4	7.5	0.5	0.5	優	良	
6	c	13	0.5	0.4	1	2	2	優	優	
7	c	13	3	0.4	1	0.33	0.33	優	優	
8	c	0.1	4	0.4	1	0.25	0.25	良	優	
9	c	0.5	4	0.4	1	0.25	0.25	優	優	
10	c	50	4	0.4	1	0.25	0.25	優	優	
11	c	100	4	0.4	1	0.25	0.25	良	優	
12	d	11	4	0.4	1	0.25	0.25	優	優	
13	e	12	4	0.4	1	0.25	0.25	優	優	
14	f	11	4	0.4	10	2.5	2.5	優	良	
15	g	10	4	0.4	2	0.5	0.5	優	良	
16	h	11	4	10	0.5	0.125	0.125	優	良	
17	i	11	4	0.01	2	0.5	0.5	優	優	
18	j	12	0.1	1	1	10	10	優	優	
19	k	11	4	0.4	0.5	0.125	0.125	優	優	
20	c	13	0.1	0.4	0.05	0.5	0.5	優	不良	
21	c	12	4	0.4	12	3	3	優	不良	
22	c	12	0.05	0.4	0.5	10	10	優	不良	
23	c	11	16	0.4	8	0.5	0.5	優	不良	
24	l	0.05	4	0.4	1	0.25	0.25	不良	不良	
25	m	150	2	0.4	1	0.5	0.5	不良	不良	
26	n	14	2	0.008	1	0.5	0.5	優	不良	
27	o	13	2	12	1	0.5	0.5	優	不良	
28	p	13	10	0.4	1	0.1	0.1	優	不良	
29	q	12	1	0.4	15	15	15	優	不良	

## 【0149】

上記表10に示すように、No. 1~19の表面処理鋼板では、いずれも皮膜密着性および加工性に優れていた。一方、No. 24及び25の表面処理鋼板では、密着層の厚みが最適化されていないため、No. 1~19の表面処理鋼板と比べると、皮膜密着性に劣っていた。さらに、No. 20~29の表面処理鋼板では、各層の条件のいずれかが最適化されていないため、いずれも、No. 1~19の表面処理鋼板と比べると、加工性（潤滑性）に劣っていた。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0150】

前述したように、本発明によれば、高周波焼入れ性に優れた冷間加工用中炭素鋼板及びその製造方法を提供することができる。よって、本発明は、高周波焼入れを利用した中炭素鋼板の用途を大きく拡大するために重要な役割を果たし、鋼製品の製造産業において利

10

20

30

40

50

用可能性が高い。

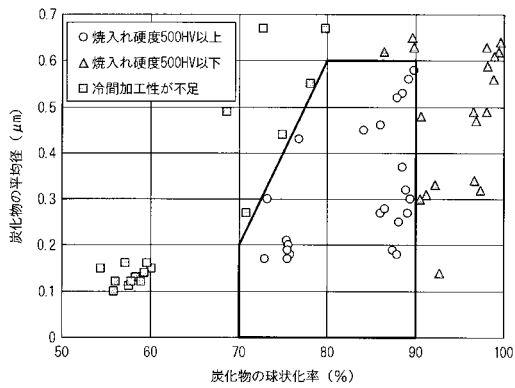
【要約】

この冷間加工用中炭素鋼板は、100 /秒の平均加熱速度で昇温後、1000 で10秒保持し、200 /秒の平均冷却速度で室温まで急冷する高周波焼入れを行った場合に硬度が500HV以上かつ900HV以下になる冷間加工用中炭素鋼板であって、質量%で、C:0.30~0.60%、Si:0.06~0.30%、Mn:0.3~2.0%、P:0.03%以下、S:0.0075%以下、Al:0.005~0.10%、N:0.001~0.01%、Cr:0.001~0.10%を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、炭化物の平均径dが0.6μm以下、炭化物の球状化率pが70%以上かつ90%未満であり、前記炭化物の平均径dμmと前記炭化物の球状化率p%とが $d = 0.04 \times p - 2.6$ を満足する。

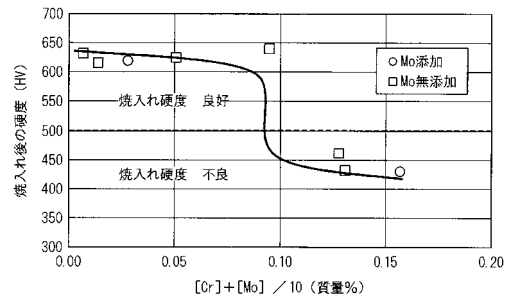
10

【選択図】図1

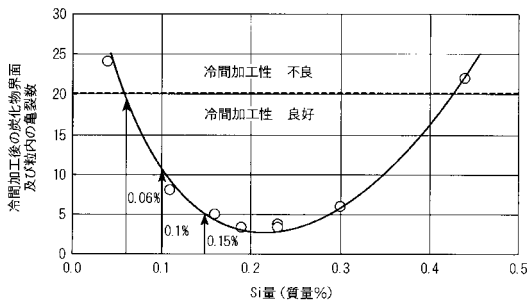
【図1】



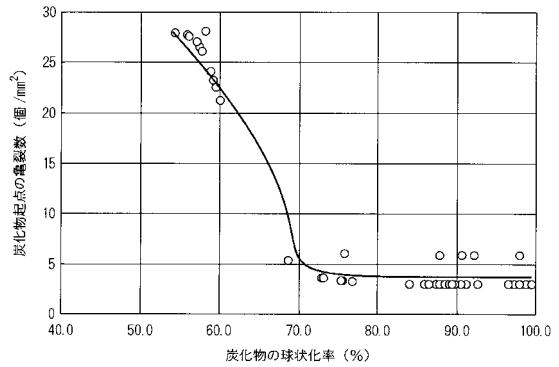
【図3】



【図2】

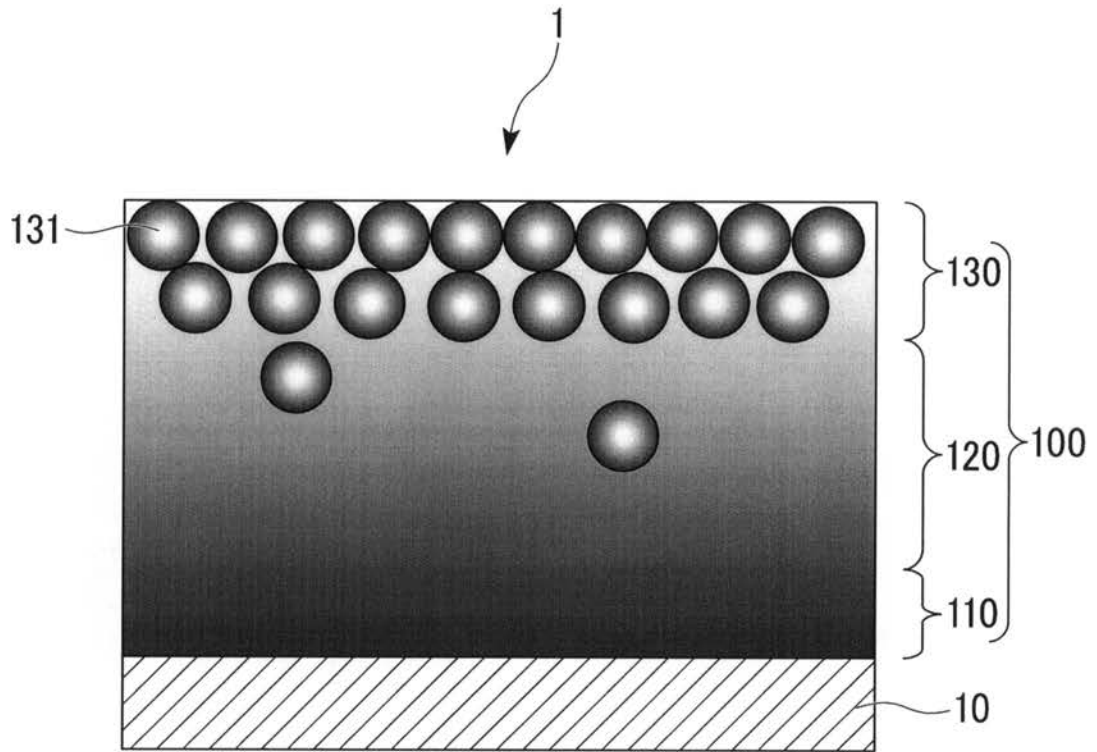


【図4】





【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
C 2 3 C 26/00 (2006.01) C 2 3 C 26/00 A

- (72)発明者 竹田 健悟  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 阿部 雅之  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 塚野 保嗣  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 荒牧 高志  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内
- (72)発明者 山口 伸一  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日本製鐵株式会社内

審査官 鈴木 毅

- (56)参考文献 特開2002-275579(JP,A)  
特開2001-059128(JP,A)  
特開2000-144307(JP,A)  
特開2007-277696(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C22C 38/00 - 38/60  
C21D 8/00 - 8/04  
C21D 9/46 - 9/48