

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-290547

(P2005-290547A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

C22C 38/00

C21D 9/46

C22C 38/06

C22C 38/58

F I

C22C 38/00

C21D 9/46

C22C 38/06

C22C 38/58

テーマコード (参考)

4K037

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2005-23407 (P2005-23407)  
 (22) 出願日 平成17年1月31日 (2005.1.31)  
 (31) 優先権主張番号 特願2004-67119 (P2004-67119)  
 (32) 優先日 平成16年3月10日 (2004.3.10)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000001258  
 J F E スチール株式会社  
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号  
 (74) 代理人 100116230  
 弁理士 中濱 泰光  
 (72) 発明者 中村 展之  
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J  
 F E スチール株式会社内  
 (72) 発明者 藤田 毅  
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J  
 F E スチール株式会社内  
 (72) 発明者 土屋 義郎  
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J  
 F E スチール株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板およびその製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 TS440MPa以上を有し、延性及び伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板を提供する。

【解決手段】 C: 0.1~0.7%、Si: 2.0%以下、Mn: 0.2~2.0%、P: 0.03%以下、S: 0.03%以下、Sol.Al: 0.1%以下、N: 0.01%以下を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなり、フェライト平均粒径が6μm以下、炭化物平均粒径が0.10μm以上1.2μm未満、粒径2.0μm以上の炭化物の体積率が10%以下、炭化物を含まないフェライト粒の体積率が5%以下である高炭素熱延鋼板。上記高張力熱延鋼板は、上記成分からなる鋼を、(Ar3変態点-10)以上で熱間圧延し、120 /秒を超えて450 以上600 以下まで1次冷却し、2次冷却により巻取りまで450 以上650 以下で保持した後、600 以下で巻取り、酸洗後、680 以上Ac1変態点以下で焼鈍することにより得られる。

【選択図】 なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

質量%で、C: 0.1~0.7%、Si: 2.0%以下、Mn: 0.2~2.0%、P: 0.03%以下、S: 0.03%以下、Sol.Al: 0.1%以下、N: 0.01%以下を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなり、フェライト平均粒径が $6\mu\text{m}$ 以下、炭化物平均粒径が $0.10\mu\text{m}$ 以上 $1.2\mu\text{m}$ 未満、粒径 $2.0\mu\text{m}$ 以上の炭化物の体積率が10%以下、炭化物を含まないフェライト粒の体積率が5%以下であることを特徴とする延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板。

## 【請求項 2】

さらに、質量%で、Cr: 0.05~1.5%、Mo: 0.01~0.5%のうち1種または2種を含有することを特徴とする請求項1に記載の延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板。

10

## 【請求項 3】

さらに、質量%で、B: 0.005%以下、Cu: 1.0%以下、Ni: 1.0%以下、W: 0.5%以下のうち、1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板。

## 【請求項 4】

さらに、質量%で、Ti: 0.5%以下、Nb: 0.5%以下、V: 0.5%以下、Zr: 0.5%以下のうち、1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板。

## 【請求項 5】

請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の組成を有する鋼を、(Ar3変態点-10)以上の仕上温度で熱間圧延し、次いで、120 /秒超えの冷却速度で450 以上600 以下の冷却停止温度まで1次冷却し、次いで、2次冷却により巻取りまで450 以上650 以下の温度で保持した後、600 以下の巻取温度で巻取り、酸洗後、680 以上Ac1変態点以下の焼鈍温度で焼鈍することを特徴とする延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板の製造方法。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板およびその製造方法に関する。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

工具あるいは自動車部品(ギア、ミッション)等を使用される高炭素鋼板は、打抜き、成形後、焼入れ焼戻し等の熱処理が施される。これらの部品加工を行うユーザーの要求として、複雑形状に成形するため延性の指標である伸び特性とともに、打抜き後の成形において、穴抜き加工(パーリング)性の向上がある。この穴抜き加工(パーリング)性は、プレス成形としては伸びフランジ性で評価されている。そのため、延性と同時に伸びフランジ性に優れた材料が望まれている。

40

## 【0003】

このような、高炭素鋼板の伸びフランジ性の向上については、いくつかの技術が検討されている。例えば、特許文献1や特許文献2には、冷間圧延を経たプロセスにおいて、伸びフランジ性に優れた中・高炭素鋼板を製造する方法が提案されている。この技術は、C: 0.1~0.8質量%を含有する鋼からなり、金属組織が実質的にフェライト+パーライト組織であり、必要に応じて初析フェライト面積率がC(質量%)により決まる所定の値以上、パーライトラメラ間隔が $0.1\mu\text{m}$ 以上の熱延鋼板に、15%以上の冷間圧延を施し、次いで、3段階または2段階の温度範囲で長時間保持する3段階または2段階焼鈍を施すというものである。

## 【0004】

50

また、特許文献3には、C：0.2～0.7質量%を含有する鋼からなり、炭化物平均粒径が0.1μm以上1.2μm以下、炭化物を含まないフェライト粒の体積率が10%以下である伸びフランジ性に優れた高炭素鋼板の製造方法が提案されている。この技術は、(Ar3変態点-20)以上の仕上温度で熱間圧延し、120 /秒超えの冷却速度で650 以下の冷却停止温度まで冷却し、600 以下の巻取温度で巻取り、酸洗後、640 以上Ac1変態点以下の焼鈍温度で焼鈍するというものである。

【特許文献1】特開平11-269552号公報

【特許文献2】特開平11-269553号公報

【特許文献3】特開2003-13145号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1、2の技術では、フェライト組織が初析フェライトからなり、炭化物を含まないため柔らかく延性に優れているが、伸びフランジ性は必ずしも良好ではない。それは、打抜き加工時に、打抜き端面の近傍で初析フェライトの部分が大きく変形するため、初析フェライトと球状炭化物を含むフェライトでは変形量が大きく異なる。その結果、これらの変形量が大きく異なる粒の粒界付近に応力が集中し、球状化組織とフェライトの界面にポイドが発生する。これがクラックに成長するため、結果的には伸びフランジ性を劣化させると考えられる。

【0006】

この対策として、球状化焼鈍を強化することにより、全体として軟質化させることが考えられる。しかし、その場合は球状化した炭化物が粗大化し、加工の際にポイド発生の起点になるとともに、加工後の熱処理段階で炭化物が溶解し難くなり、焼入れ強度の低下につながる。

【0007】

また、最近では従来にもまして、生産性向上の観点からの加工レベルに対する要求が厳しくなっている。そのため、高炭素鋼の穴抜き加工についても、加工度の増加等により、打抜き端面の割れが発生しやすくなっている。従って、高炭素鋼板にも高い伸びフランジ性が要求されている。

【0008】

本発明者らは、かかる事情に鑑み、長時間を要する多段階焼鈍を用いることなく製造でき、打抜き端面の割れが発生しにくい伸びフランジ性に優れた高炭素鋼板を提供することを目的として、特許文献3に記載の技術を開発した。この技術により、伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板が製造できるようになった。

【0009】

一方で、最近では、駆動系部品などの用途に対しては、高耐久・軽量化の観点から一体成形部品などで非熱処理部においても高強度化が進み、素材である鋼板の引張強度(TS)として440MPa以上の強度を要求されるようになってきている。そして、このような要求と共に、部品の製造コスト低減のため、熱延鋼板で供給することが要求されている。

【0010】

また、一体成形においては、10数工程のプレス工程を有し、バーリング加工のみならず、張出し、曲げなどの成形モードが複雑に組み合わせられて成形がなされており、伸びフランジ性と伸び性の両特性を同時に要求されるようになってきている。

【0011】

しかしながら、上記特許文献3記載の技術では、TS 440MPa(HRB硬度換算で73ポイント以上)を達成しようとする、十分な伸びフランジ性が必ずしも得られなかった。すなわち、上記技術ではこのTSと伸びフランジ性の要望を、同時に安定して確保することができなかった。また、伸びについては言及しなかった。

【0012】

さらに、上記に加え、特許文献3では、冷却後に変態発熱を生じて温度が上昇し、初析

10

20

30

40

50

フェライトの析出及びパーライト変態が進行し炭化物の粗大化や不均一分散を生じ、特性の劣化を招きやすい。

【0013】

本発明は、上記問題点を解決するためになされたもので、長時間を要する多段階焼鈍を用いることなく製造でき、打抜き端面の割れが発生しにくい、引張強度が440MPa以上を有するとともに、延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板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】

【0014】

本発明者らは、強度を確保しつつ高炭素鋼板の延性および伸びフランジ性に及ぼす成分およびミクロ組織の影響について鋭意検討を行った。その結果、鋼板の延性および伸びフランジ性には、成分、炭化物の形状および量のみならず、炭化物の分散状態も大きな影響を及ぼしていることを見出した。すなわち、炭化物の形状としては炭化物平均粒径、粒径2.0 $\mu\text{m}$ 以上の炭化物の体積率、炭化物の分散状態としては炭化物を含まないフェライト粒の体積率、およびフェライト平均粒径を、それぞれ制御することにより、高炭素熱延鋼板の延性および伸びフランジ性が向上することが判明した。

【0015】

本発明は、以上の知見に基づきなされたもので、その要旨は以下のとおりである。

【0016】

[1] 質量%で、C:0.1~0.7%、Si:2.0%以下、Mn:0.2~2.0%、P:0.03%以下、S:0.03%以下、Sol.Al:0.1%以下、N:0.01%以下を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなり、フェライト平均粒径が6 $\mu\text{m}$ 以下、炭化物平均粒径が0.10 $\mu\text{m}$ 以上1.2 $\mu\text{m}$ 未満、粒径2.0 $\mu\text{m}$ 以上の炭化物の体積率が10%以下、炭化物を含まないフェライト粒の体積率が5%以下であることを特徴とする延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板。

【0017】

[2] 上記[1]において、さらに、質量%で、Cr:0.05~1.5%、Mo:0.01~0.5%のうち1種または2種を含有することを特徴とする延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板。

【0018】

[3] 上記[1]または[2]において、さらに、質量%で、B:0.005%以下、Cu:1.0%以下、Ni:1.0%以下、W:0.5%以下のうち、1種または2種以上を含有することを特徴とする延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板。

【0019】

[4] 上記[1]ないし[3]のいずれかにおいて、さらに、質量%で、Ti:0.5%以下、Nb:0.5%以下、V:0.5%以下、Zr:0.5%以下のうち、1種または2種以上を含有することを特徴とする延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板。

【0020】

[5] 上記[1]ないし[4]のいずれかに記載の組成を有する鋼を、(Ar3変態点-10)以上の仕上温度で熱間圧延し、次いで、120 /秒超えの冷却速度で450 以上600 以下の冷却停止温度まで1次冷却し、次いで、2次冷却により巻取りまで450 以上650 以下の温度で保持した後、600 以下の巻取温度で巻取り、酸洗後、680 以上Ac1変態点以下の焼鈍温度で焼鈍することを特徴とする延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板の製造方法。

【0021】

なお、本明細書において、鋼の成分を示す%は、すべて質量%である。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、打抜き時の端面におけるボイドの発生を抑制し、穴拡げ加工におけるクラックの成長を遅くすることができる。その結果、引張強度で440MPa以上を有し、極めて延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板を提供することが可能となる。そし

て、本発明の延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板をギアに代表される変速機部品等の高耐久部品に用いることにより、加工工程において加工度を高くとることができ、その結果、高い品質と同時に、製造工程を省略して低コストで部品等を製造することが可能となる。また、駆動系部品においても、高耐久・軽量化の観点から一体成形部品では非熱処理部の高強度化が進み素材レベルで440MPa級の鋼板が必要になっており、この点からも本発明の高炭素熱延鋼板は有用である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

本発明の高炭素熱延鋼板は、質量%で、C:0.1~0.7%、Si:2.0%以下、Mn:0.2~2.0%、P:0.03%以下、S:0.03%以下、Sol.Al:0.1%以下、N:0.01%以下を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなり、フェライト平均粒径が6 $\mu$ m以下、炭化物平均粒径が0.10 $\mu$ m以上1.2 $\mu$ m未満、2.0 $\mu$ m以上の炭化物の体積率が10%以下、炭化物を含まないフェライト粒の体積率が5%以下であることを特徴とし、これらは本発明において最も重要な要件である。このように化学成分と金属組織（フェライト平均粒径）、炭化物の形状（炭化物平均粒径、2.0 $\mu$ m以上の炭化物の体積率）および炭化物の分散状態（炭化物を含まないフェライト粒の体積率）を規定し、全てを満足することにより、延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板を得ることができる。

【0024】

さらに、本発明の高炭素熱延鋼板は、質量%で、Cr:0.05~1.5%、Mo:0.01~0.5%のうち1種または2種を含有することもでき、さらに、質量%で、B:0.005%以下、Cu:1.0%以下、Ni:1.0%以下、W:0.5%以下のうち1種または2種以上を含有することもでき、さらに、質量%で、Ti:0.5%以下、Nb:0.5%以下、V:0.5%以下、Zr:0.5%以下のうち1種または2種以上を含有することもできる。

【0025】

また、上記高炭素熱延鋼板は、(Ar3変態点-10)以上の仕上温度で熱間圧延し、次いで、120/s秒超えの冷却速度で450以上600以下の冷却停止温度まで1次冷却し、次いで、2次冷却により巻取りまでの温度を450以上650以下と保持した後、600以下の巻取温度で巻取り、酸洗後、680以上Ac1変態点以下の焼鈍温度で焼鈍することにより製造することが可能となる。このように、熱間圧延後、1次冷却、2次冷却、巻取りおよび焼鈍までの条件をトータルで制御することにより、本発明の目的が達成される。

【0026】

以下、本発明を詳細に説明する。

【0027】

まず、本発明における鋼の化学成分の限定理由は以下の通りである。

【0028】

C:0.1~0.7%

Cは、炭化物を形成し、焼入れ後の硬度を付与する重要な元素である。C含有量が0.1%未満では、熱延後の組織において初析フェライトの生成が顕著となり、炭化物の分布が不均一となる。さらに、焼入れ後も、機械構造用部品として十分な強度が得られない。一方、0.7%を超えると、焼鈍後でも十分な加工性が得られず、伸びフランジ性および延性が低い。また、熱延後の鋼板の硬度が高く脆いため取り扱いに不便であり、焼入れ後の強度も飽和する。従って、C含有量は0.1%以上0.7%以下とする。好ましくは、焼入れ後の十分な強度確保の観点から0.2%以上、また、巻取り工程以降の鋼板の取り扱い等の観点から0.6%以下である。なお、これは本発明において、重要な要件である。

【0029】

Si:2.0%以下

Siは、焼入れ性を向上させるとともに固溶強化により素材強度を上昇させる元素であるため、0.005%以上含有することが好ましい。しかし、2.0%を超えて含有すると、初析フェライトが生成し易くなり、炭化物を実質的に含まないフェライト粒が多くなって、伸びフランジ性が劣化する。さらに炭化物を黒鉛化し、焼入れ性を阻害する傾向がある。従

って、S i 含有量は2.0%以下とする。好ましくは、焼鈍後の強度確保の観点から0.02%以上、また、表面性状の観点から0.5%以下である。

【0030】

M n : 0.2~2.0%

M n は、S i と同様に焼入れ性を向上させるとともに固溶強化により素材強度を上昇させる元素である。また、S を M n S として固定し、スラブの熱間割れを防止する重要な元素である。しかし、M n 含有量が0.2%未満では、これらの効果が小さくなるとともに、初析フェライトの生成を助長し、フェライト粒を粗大化させる。また、焼入性を大幅に低下させる。一方2.0%を超える場合は、引張強度は得られるが、偏析帯であるマンガンバンドの生成が顕著となり、伸びフランジ性および伸びが劣化する。従って、M n 含有量は0.20%以上2.0%以下とする。好ましくは、マンガンバンド生成による伸びフランジ性および伸びの劣化の観点から1.0%以下である。 10

【0031】

P : 0.03%以下

P は、粒界に偏析し、靱性を低下させるため、低減しなければならない元素である。しかし、P の含有量が0.03%までは許容できるため、P 含有量は0.03%以下とする。

【0032】

S : 0.03%以下

S は、M n と M n S を形成し伸びフランジ性を劣化させるため、低減しなければならない元素である。しかし、S の含有量が0.03%までは許容できるため、S 含有量は0.03%以下とする。 20

【0033】

s o l . A l : 0.1%以下

A l は、脱酸剤として用い、鋼の清浄度を向上させるため、製鋼段階で添加し、鋼中には通常 s o l . A l で概ね0.005%以上含有される。一方、s o l . A l 含有量が0.1%を超える程 A l を添加しても、清浄度を向上させるという効果が飽和しコスト増となる。また、過剰に添加すると A l N が多量に析出し焼入れ性を低下させる。従って、鋼中の s o l . A l 含有量は0.1%以下とする。好ましくは0.08%以下である。

【0034】

N : 0.01%以下

N は、過剰に添加すると延性の低下をもたらすため、添加する場合、0.01%以下とする。 30

【0035】

本発明の鋼板は、上記の必須添加元素で目的とする特性が得られるが、所望の特性に応じてCr、Moのうち1種または2種を含有することもできる。

【0036】

C r : 0.05~1.5%

C r は、熱間圧延後の冷却中の初析フェライトの生成を抑制し、伸びフランジ性を向上させると同時に、焼入性を高める重要な元素である。しかし、C r 含有量が0.05%未満では、十分な効果が得られない。一方、1.5%を超えて含有しても、焼入性は向上するが、初析フェライト生成の抑制効果が飽和するとともに、コスト増となる。従って、C r を含有する場合、Cr含有量は0.05%以上1.5%以下とする。好ましくは、焼入れ後の十分な強度確保の観点から、焼入処理時に十分な冷却速度が確保される条件下では0.05%以上0.3%以下、焼入処理時の冷却速度が変動しても焼入れ後の強度が厳密に要求される場合は0.8%以上1.5%以下とする。 40

【0037】

M o : 0.01~0.5%

M o は、熱間圧延後の冷却中の初析フェライトの生成を抑制し、伸びフランジ性を向上させると同時に、焼入性を高める重要な元素である。しかし、M o 含有量が0.01%未満では、十分な効果が得られない。一方、0.5%を超えて含有しても、焼入性は向上するが、 50

初析フェライト生成の抑制効果が飽和するとともに、コスト増となる。従って、Moを含む場合、Mo含有量は0.01%以上0.5%以下とする。好ましくは、焼入れ後の十分な強度確保の観点から0.05%以上である。

【0038】

また、本発明鋼は、上記の添加元素に加えて、熱延冷却時の初析フェライト生成の抑制、焼入れ性の向上のため、B、Cu、Ni、Wを必要に応じて1種または2種以上添加しても良い。その場合、添加量が、Bが0.0001%未満、Cu、Ni、Wがそれぞれ0.01%未満では、添加の効果が十分に得られない。一方、Bが0.005%、Cuが1.0%、Niが1.0%、Wが0.5%を超えると、効果が飽和し、コスト増となる。したがって、これらの元素を添加する場合は、B：0.0001%以上0.005%以下、Cu：0.01%以上1.0%以下、Ni：0.01%以上1.0%以下、W：0.01%以上0.5%以下とする。ただし、Bは、鋼中のNと化合物を形成しB自体の効果が発現しない場合がある。そのため、熱延冷却時の初析フェライト生成の抑制、焼入れ性の向上のために添加する元素としては、Cu、Ni、Wの中から1種または2種以上を選ぶのが望ましい。その際、それぞれの元素の望ましい添加量は、上記と同様である。

10

【0039】

さらに、本発明鋼は、上記の添加元素に加えて、フェライト粒の微細化による440MPa以上の引張強度確保の生成のため、Ti、Nb、V、Zrを必要に応じて1種または2種以上添加しても良い。その場合、添加量がそれぞれ0.001%未満では添加の効果が十分に得られない。一方、それぞれ0.5%を超えると、効果が飽和し、コスト増となる。したがって、これらの元素を添加する場合は、いずれも0.001%以上0.5%以下とする。

20

【0040】

なお、上記以外の残部はFeおよび不可避免的不純物からなる。

【0041】

また、製造過程でSn、Pb等の各種元素が不純物として混入する場合があるが、このような不純物も本発明の効果にとくに影響を及ぼすものではない。

【0042】

次に本発明の金属組織（フェライト平均粒径）、炭化物の形状（炭化物平均粒径、2.0  $\mu\text{m}$ 以上の炭化物の体積率）、および炭化物の分散状態（炭化物を含まないフェライト粒の体積率）について説明する。なお、これらは延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板を得るために、重要な要件であり、上記の中の一つでも満足しない場合、本発明の効果は得られず、全てを満足して初めて効果が得られるものである。

30

【0043】

フェライト平均粒径：6  $\mu\text{m}$ 以下

フェライト平均粒径は、伸びフランジ性と素材強度を支配する重要な因子である。フェライト粒を微細化することにより、伸びフランジ性を劣化させることなく、強度を向上することが可能となる。すなわち、フェライト粒径を6  $\mu\text{m}$ 以下とすることにより、素材の引張強度を440MPa以上確保しつつ、優れた延性および伸びフランジ性が得られる。なお、フェライト平均粒径は後述のように熱間圧延後の1次冷却停止温度、2次冷却保持温度および巻取温度により制御することができる。

40

【0044】

炭化物平均粒径：0.10  $\mu\text{m}$ 以上かつ1.2  $\mu\text{m}$ 未満

炭化物平均粒径は、加工性一般および穴抜き加工におけるボイドの発生に大きく影響し、本発明の重要な要件の一つである。炭化物が微細になるとボイドの発生は抑制できるが、炭化物平均粒径が0.10  $\mu\text{m}$ 未満になると、硬さの上昇に伴い延性が低下し、そのため伸びフランジ性も低下する。一方、炭化物平均粒径の増加に伴い加工性一般は向上するが、1.2  $\mu\text{m}$ 以上になると、穴抜き加工におけるボイドの発生により伸びフランジ性が低下し、局部延性の低下に伴い延性も低下する。以上より、炭化物平均粒径は0.10  $\mu\text{m}$ 以上かつ1.2  $\mu\text{m}$ 未満とする。なお、炭化物平均粒径は後述のように製造条件、特に1次冷却停止温度、巻取温度および焼鈍温度により制御することができる。

50

## 【0045】

粒径 $2.0\mu\text{m}$ 以上の炭化物の体積率：10%以下

加工性一般および穴抜き加工におけるボイドは、粗大な炭化物周辺から優先的に発生するため、炭化物については、平均粒径の制御だけでなく、粗大な炭化物の体積率を低減することも重要であり、これは本発明の重要な要件の一つである。炭化物平均粒径が $0.10\mu\text{m}$ 以上 $1.2\mu\text{m}$ 未満であっても、粒径 $2.0\mu\text{m}$ 以上の粗大な炭化物が体積率で10%を超えて存在すると、穴抜き加工におけるボイドの発生により伸びフランジ性が低下し、局部延性の低下に伴い延性も低下する。以上より、粒径 $2.0\mu\text{m}$ 以上の炭化物の体積率は10%以下とする。なお、炭化物粒径は後述のように1次冷却停止温度、2次冷却保持温度、巻取温度および焼鈍温度により制御することができる。

10

## 【0046】

炭化物を含まないフェライト粒の体積率：5%以下

炭化物の分散状態を均一にすることにより、穴抜き加工時の打抜き端面における応力集中が緩和され、ボイドの発生が抑制できる。この点で炭化物を含まないフェライト粒の体積率を制御することは重要である。炭化物を含まないフェライト粒を、体積率にして5%以下にすることにより、炭化物の分散状態を均一にした場合と同様の効果が得られ、伸びフランジ性が著しく向上する。また、局部延性の向上に伴い延性も著しく向上する。なお、本発明において、炭化物を含まないとは、通常の金属組織観察（光学顕微鏡）では炭化物が検出されないということである。このようなフェライト粒は、熱延後に初析フェライトとして生成した部分であり、焼鈍後の状態でも粒内の炭化物が実質的に見られない。なお、炭化物の分散状態は後述のように製造条件、特に仕上温度、圧延後の冷却の冷却速度、冷却停止温度および巻取温度により制御することができる。

20

## 【0047】

次に、本発明の延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板の製造方法について説明する。

## 【0048】

本発明の高強度薄鋼板は、上記化学成分範囲に調整された鋼を（Ar3変態点 - 10）以上の仕上温度で熱間圧延し、次いで、120 /秒超えの冷却速度で450 以上600 以下の冷却停止温度まで1次冷却し、次いで、2次冷却により巻取りまでの温度を450 以上650 以下と保持した後、600 以下の巻取温度で巻取り、酸洗後、680 以上Ac1変態点以下の焼鈍温度で焼鈍することにより得られる。これについて以下に詳細に説明する。

30

## 【0049】

仕上温度：（Ar3変態点 - 10）以上で熱間圧延

熱間圧延の仕上温度が（Ar3変態点 - 10）未満では、一部でフェライト変態が進行するため、フェライト粒が増加し、延性および伸びフランジ性が劣化するため、Ar3変態点 - 10 以上の仕上温度で仕上圧延する。これにより、組織の均一化が図ることができ、延性および伸びフランジ性の向上が図れる。

## 【0050】

冷却速度：120 /秒超えで1次冷却

本発明では、変態後の初析フェライト体積率の低減を図るため、熱延後に冷却速度：120 /秒超えの急冷（1次冷却）を行う。冷却方法が徐冷であると、オーステナイトの過冷度が小さく初析フェライトが生成する。特に、冷却速度が120 /秒以下の場合、初析フェライトの生成が顕著となり、炭化物を含まないフェライト粒が5%超となり、延性および伸びフランジ性が劣化する。従って、圧延後の冷却速度を120 /秒超とする。

40

## 【0051】

なお、仕上圧延後、0.1秒を越え1.0秒未満の時間内で1次冷却を開始することが好ましい。この場合、変態後のフェライト結晶粒やパーライト等の析出物をより微細化でき、加工性をより一層向上できる。

## 【0052】

冷却停止温度：450 以上600 以下

50



1次冷却の冷却停止温度が高い場合、初析フェライトが生成するとともに、パーライトのラメラ間隔が粗大化する。そのため、焼鈍後に微細炭化物が得られなくなり、延性および伸びフランジ性が劣化する。特に冷却停止温度が600 より高い場合、炭化物を含まないフェライト粒が5%超となり、延性および伸びフランジ性が劣化する。従って、圧延後の冷却の冷却停止温度は600 以下とする。一方、冷却停止温度が450 未満になると、等軸フェライト粒が得られず加工性が劣化することがあるため、冷却停止温度は450 以上とする。

#### 【0053】

2次冷却により1次冷却停止から巻取りまで、450 以上650 以下の温度で保持

高炭素鋼板の場合、1次冷却停止後に初析フェライト変態、パーライト変態、ベイナイト変態に伴い鋼板温度が上昇することがあり、1次冷却停止温度が600 以下であっても、1次冷却終了から巻取りまでの温度が650 よりも高い場合、初析フェライトが生成するとともに、パーライトのラメラ間隔が粗大化し、パーライト中の炭化物が粗大化する。そのため、焼鈍後に微細炭化物が得られなくなり、粒径 $2.0\mu\text{m}$ 以上の炭化物の体積率が10%を越えるため、延性および伸びフランジ性が劣化する。また、1次冷却停止から巻取りまでの温度が450 未満になると、等軸フェライト粒が得られず加工性が劣化することがある。これらの理由により、2次冷却により巻取りまでの温度を制御することは重要であり、2次冷却により巻取りまで450 以上650 以下の温度で保持することにより延性および伸びフランジ性および加工性の劣化を防止することができる。なお、この場合の2次冷却はラミナ - 冷却等により行うことができる。

#### 【0054】

また、1次冷却停止から巻取りまでの保持時間については、短すぎると、巻取り後に変態発熱が生じ、鋼板の温度制御が不可能となったりコイルつぶれが発生するため、巻取りまでの間に変態を完了させる目的から、5秒以上であることが好ましく、一方、長すぎると操作性が著しく低下するため、60秒以下とすることが好ましい。

#### 【0055】

巻取温度：600 以下

巻取温度が高いほどパーライトのラメラ間隔が大きくなる。そのため、焼鈍後の炭化物が粗大化し、巻取温度が600 を超えると延性および伸びフランジ性が劣化する。従って、巻取温度は600 以下とする。なお、巻取温度の下限は特に規定しないが、低温になるほど鋼板の形状が劣化するため、200 以上とすることが好ましい。

#### 【0056】

焼鈍温度：680 以上Ac1変態点以下

熱延鋼板を酸洗した後、炭化物を球状化するために焼鈍を行う。焼鈍温度が680 未満では、炭化物の球状化が不十分あるいは炭化物平均粒径が $0.1\mu\text{m}$ 未満となり、伸びフランジ性が劣化する。また、等軸フェライト粒が得られず、加工性および延性が劣化する。一方、焼鈍温度がAc1変態点を超えると、一部がオーステナイト化し、冷却中に再度パーライトを生成するため、やはり、伸びフランジ性が劣化し延性も低下する。以上より、焼鈍温度は680 以上Ac1変態点以下とする。

#### 【0057】

なお、本発明の高炭素鋼の成分調整には、転炉あるいは電気炉のどちらでも使用可能である。そして、成分調整された高炭素鋼を造塊 - 分塊圧延または連続鑄造によりスラブとし、このスラブについて熱間圧延を行うが、その際、スラブ加熱温度は、スケール発生による表面状態の劣化を避けるため1280 以下が好ましい。また、連続鑄造スラブをそのまま又は温度低下を抑制する目的で保熱しつつ圧延する直送圧延を行ってもよい。さらに、熱間圧延時に粗圧延を省略して仕上圧延を行ってもよい。仕上温度確保のため、熱間圧延中にパーヒーター等の加熱手段により圧延材の加熱を行ってもよい。また、球状化促進あるいは硬度低減のため、巻取り後にコイルを徐冷カバー等の手段で保温してもよい。

#### 【0058】

熱間圧延後の焼鈍については、箱焼鈍、連続焼鈍のいずれでもよい。その後、必要に応

10

20

30

40

50

じて調質圧延を行う。この調質圧延については焼入れ性には影響を及ぼさないことから、その条件に対して特に制限はない。

【 0 0 5 9 】

以上により延性および伸びフランジ性に優れた高炭素熱延鋼板が得られる。このように本発明の高炭素熱延鋼板が優れた延性および伸びフランジ性を有する理由は次のように考えられる。伸びフランジ性には、打抜き端面部分の内部組織が大きく影響する。特に、炭化物を含まないフェライト粒（熱延後の初析フェライト）が多い場合、球状化組織の部分との粒界からクラックが発生することが確認されている。ミクロ組織の挙動を見ると、打抜き加工後には炭化物の界面に応力集中によるボイドの発生が顕著になる。この応力集中は、炭化物の寸法が大きいほど、また、炭化物を含まないフェライト粒が多いほど大きくなる。そして、穴抜き加工の際は、これらのボイドが連結しクラックとなる。さらに、フェライト粒径を制御することで、伸びが安定して高まる。以上の点から、化学成分と金属組織（フェライト平均粒径）、炭化物の形状（炭化物平均粒径、 $2.0\mu\text{m}$ 以上の炭化物の体積率）、および炭化物の分散状態（炭化物を含まないフェライト粒の体積率）を制御することにより、応力集中を小さくし、ボイドの発生を低減し、優れた延性および伸びフランジ性を有することが可能となる。

10

【実施例 1】

【 0 0 6 0 】

表1に示す鋼No.A～Rの化学成分を有する鋼の連続鋳造スラブを1250 に加熱し、表2に示す条件にて熱間圧延および焼鈍を行い、板厚5.0mmの鋼板を製造した。ここで、鋼板No. 1～18は製造条件が本発明範囲内の本発明例であり、鋼板No.19～32は製造条件が本発明範囲から外れる比較例である。

20

【 0 0 6 1 】

【表 1】

鋼	質量%							
	C	Si	Mn	P	S	sol. Al	N	その他
A	0.15	0.22	0.72	0.009	0.005	0.020	0.0038	Cr:1.0, Mo:0.16
B	0.23	0.20	0.80	0.010	0.009	0.031	0.0030	—
C	0.35	0.21	0.76	0.014	0.005	0.028	0.0034	—
D	0.35	0.20	0.75	0.012	0.004	0.035	0.0036	Cr:1.0, Mo:0.15
E	0.49	0.18	0.75	0.011	0.008	0.030	0.0035	—
F	0.64	0.22	0.73	0.012	0.010	0.021	0.0036	—
G	0.26	0.03	0.45	0.015	0.003	0.040	0.0050	Cr:0.28
H	0.26	0.03	0.45	0.015	0.003	0.040	0.0050	Mo:0.30
I	0.47	0.18	0.75	0.011	0.008	0.030	0.0035	Cr:0.15
J	0.58	0.20	0.74	0.015	0.010	0.021	0.0038	Cr:0.06
K	0.35	0.21	0.76	0.013	0.005	0.028	0.0034	Cr:0.18
L	0.35	0.45	0.76	0.013	0.005	0.028	0.0034	Mo:0.06
M	0.37	0.03	0.75	0.014	0.004	0.028	0.0034	Cr:0.28, Mo:0.30
N	0.35	0.18	0.25	0.014	0.005	0.028	0.0034	Mo:0.15
O	0.35	0.18	0.95	0.014	0.005	0.028	0.0034	Cr:0.06, Mo:0.06
P	0.35	0.20	0.75	0.014	0.004	0.031	0.0032	Cr:0.06, B:0.0022, Cu:0.2, Ni:0.6, W:0.05,
Q	0.34	0.21	0.75	0.013	0.004	0.032	0.0034	Cr:0.25, Ti:0.005, Nb:0.008, V:0.01, Zr:0.01
R	0.34	0.21	0.73	0.013	0.004	0.030	0.0038	Cr:0.06, Mo:0.06, Cu:0.08, Ni:0.02, Ti:0.02, V:0.05

30

40

【 0 0 6 2 】

【表 2】

鋼板No	鋼	圧延終了温度(°C)	1次冷却開始時間(秒)	1次冷却速度(°C/秒)	1次冷却停止温度(°C)	2次冷却による巻取りまでの保持温度範囲(°C)	巻取温度(°C)	焼鈍条件	備考
1	A	Ar3+30°C	0.5	220	590	550~590	550	680°Cx40hr	本発明例
2	B	Ar3+30°C	1.2	230	590	570~620	580	680°Cx40hr	本発明例
3	C	Ar3+20°C	1.0	210	560	480~550	540	680°Cx40hr	本発明例
4	D	Ar3+20°C	1.0	200	550	490~530	540	680°Cx40hr	本発明例
5	E	Ar3+30°C	1.2	200	570	520~630	550	710°Cx40hr	本発明例
6	F	Ar3+40°C	0.4	200	580	580~640	560	700°Cx40hr	本発明例
7	G	Ar3+20°C	1.1	210	590	580~630	560	680°Cx40hr	本発明例
8	H	Ar3+20°C	1.1	220	580	580~620	570	680°Cx40hr	本発明例
9	I	Ar3+30°C	1.2	210	560	530~630	560	680°Cx40hr	本発明例
10	J	Ar3+20°C	1.1	200	570	540~620	550	680°Cx40hr	本発明例
11	K	Ar3+20°C	1.0	210	560	480~550	550	680°Cx40hr	本発明例
12	L	Ar3+20°C	1.0	210	570	480~570	570	680°Cx40hr	本発明例
13	M	Ar3+20°C	1.0	210	560	480~550	560	680°Cx40hr	本発明例
14	N	Ar3+20°C	1.0	210	560	480~540	550	680°Cx40hr	本発明例
15	O	Ar3+20°C	1.0	210	570	480~550	560	680°Cx40hr	本発明例
16	P	Ar3+20°C	1.0	210	560	490~580	560	680°Cx40hr	本発明例
17	Q	Ar3+20°C	1.0	210	560	500~570	560	680°Cx40hr	本発明例
18	R	Ar3+20°C	1.0	210	560	500~570	560	680°Cx40hr	本発明例
19	A	Ar3+30°C	0.5	180	680	620~650	600	680°Cx40hr	比較例
20	A	Ar3-40°C	1.2	180	590	580~630	590	680°Cx40hr	比較例
21	A	Ar3+10°C	0.5	280	430	420~500	500	660°Cx40hr	比較例
22	B	Ar3+30°C	1.2	210	630	580~660	580	680°Cx40hr	比較例
23	B	Ar3-40°C	0.7	160	630	560~620	570	700°Cx40hr	比較例
24	B	Ar3+20°C	1.2	80	610	550~600	540	680°Cx40hr	比較例
25	C	Ar3+30°C	0.8	220	580	470~550	460	600°Cx20hr	比較例
26	C	Ar3+20°C	1.0	210	580	550~680	600	680°Cx40hr	比較例
27	D	Ar3-30°C	1.2	160	590	580~640	590	680°Cx40hr	比較例
28	D	Ar3+20°C	0.5	280	420	410~510	500	660°Cx40hr	比較例
29	E	Ar3-30°C	1.2	160	580	550~630	520	700°Cx40hr	比較例
30	E	Ar3+30°C	0.7	200	660	610~650	600	700°Cx40hr	比較例
31	F	Ar3+20°C	1.0	180	640	600~650	640	700°Cx40hr	比較例
32	F	Ar3+10°C	0.6	220	610	540~610	560	640°Cx40hr	比較例

## 【0063】

以上より得られた鋼板からサンプルを採取し、フェライト粒径、炭化物平均粒径、粒径2.0 $\mu$ m以上の炭化物の体積率、炭化物を含まないフェライト粒の体積率の測定、硬さ測定、伸びフランジ性（穴拡げ率）測定、および引張試験を行った。得られた結果を表3に示す。なお、それぞれの試験・測定方法および条件については、以下の通りである。

1) フェライト粒径、炭化物平均粒径、粒径2.0 $\mu$ m以上の炭化物の体積率、炭化物を含まないフェライト粒の体積率の測定

サンプルの板厚断面を研磨・腐食後、走査型電子顕微鏡にてミクロ組織を撮影し、0.01 $\text{mm}^2$ の範囲でフェライト粒径、炭化物平均粒径、粒径2.0 $\mu$ m以上の炭化物の体積率、炭化物を含まないフェライト粒の体積率の測定を行った。

2) 硬さ測定：JIS Z2245に準拠して鋼板表面硬度を測定し、 $n = 5$ の平均値とした。

3) 伸びフランジ性測定

サンプルを、ポンチ径 $d_o = 10\text{mm}$ 、ダイス径12mm（クリアランス20%）の打抜き工具を用いて打抜き後、穴拡げ試験を実施した。穴拡げ試験は、円筒平底ポンチ（50mm、8R）にて押し上げる方法で行い、穴縁に板厚貫通クラックが発生した時点での穴径 $d_b$ を測定して、次式で定義される穴拡げ率：（%）を求めた。

$$= 100 \times (d_b - d_o) / d_o \quad (1)$$

4) 引張試験

圧延方向に対し、90°方向（C方向）に沿ってJIS5号試験片を採取し、引張速度10mm/minで引張試験を行い、引張強度および伸びを測定した。

【0064】

なお、本発明では、引張強度TSについては440MPa以上を、伸びについてはC量が0.10%以上0.40%未満の鋼では35%以上、C量が0.40%以上0.70%以下の鋼では30%以上を、また、穴拡げ率については、C量が0.10%以上0.40%未満の鋼では70%以上（板厚5.0mm）、C量が0.40%以上0.70%以下の鋼では40%以上（板厚5.0mm）を、それぞれ目標とする。

【0065】

【表3】

鋼板No	鋼	フェライト平均粒径(μm)	炭化物平均粒径(μm)	粒径2μm超の炭化物の体積率(%)	炭化物を含まないフェライトの体積率(%)	硬さ(HRB)	穴拡げ率λ(%)	引張強度(MPa)	伸び(%)	備考
1	A	5.8	0.75	6	5	73	148	440	43	本発明例
2	B	5.5	0.88	8	5	73	150	445	42	本発明例
3	C	3.6	0.59	4	3	79	80	490	38	本発明例
4	D	3.2	0.40	2	3	80	75	500	36	本発明例
5	E	2.9	0.47	3	2	86	56	560	32	本発明例
6	F	1.9	0.36	2	1	88	45	590	31	本発明例
7	G	5.0	0.65	7	4	75	90	470	40	本発明例
8	H	4.8	0.63	6	4	76	89	480	40	本発明例
9	I	3.0	0.50	3	2	85	60	550	33	本発明例
10	J	2.5	0.41	2	1	87	50	580	31	本発明例
11	K	3.6	0.57	3	3	79	79	490	38	本発明例
12	L	3.6	0.58	4	4	80	78	500	37	本発明例
13	M	3.6	0.59	4	3	78	81	480	39	本発明例
14	N	3.6	0.59	4	3	79	80	490	38	本発明例
15	O	3.6	0.59	4	3	79	79	490	38	本発明例
16	P	3.5	0.58	4	3	79	79	490	38	本発明例
17	Q	3.2	0.58	4	3	80	78	500	37	本発明例
18	R	3.2	0.59	4	3	79	80	490	38	本発明例
19	A	10.8	1.44	25	30	70	98	410	42	比較例
20	A	6.8	0.90	9	20	72	118	435	40	比較例
21	A	3.5	0.05	0	1	84	38	535	33	比較例
22	B	6.5	0.94	11	8	72	138	430	40	比較例
23	B	7.2	1.30	15	26	68	75	400	41	比較例
24	B	6.5	0.88	8	16	72	70	430	40	比較例
25	C	3.4	0.07	0	2	90	21	580	29	比較例
26	C	3.6	1.10	11	5	79	45	490	32	比較例
27	D	5.2	0.64	5	15	78	51	480	33	比較例
28	D	2.1	0.04	0	0	92	20	600	27	比較例
29	E	3.0	0.68	6	18	82	19	520	28	比較例
30	E	5.2	1.39	22	15	80	20	500	29	比較例
31	F	3.9	1.38	21	6	84	10	530	27	比較例
32	F	3.0	0.08	1	6	89	11	580	25	比較例

【0066】

表3より、鋼板No.1～18の本発明例は、引張強度（TS）が440MPa以上であり、穴拡げ率が高く伸びフランジ性および伸びに優れていることがわかる。

【0067】

一方、鋼板No.19～32は製造条件が本発明範囲を外れた比較例であり、鋼板No.19、20、22、23、24はフェライト粒径が6μm超であることから、引張強さが440MP未満である。鋼板No.30、31は炭化物平均粒径が1.2μm超であり、粒径2μm超の炭化物の体積率が10%超であり、さらに炭化物を含まないフェライトの体積率も5%超であることから、穴拡げ率が低く、伸びフランジ性に劣っている。鋼板No.21、25、28、32は、炭化物平均粒径が0.1μm未満であり、高強度化したため、目標値に対して、穴拡げ率及び伸びが低く、伸

びフランジ性および伸びに劣っている。鋼板No.27、29は、炭化物を含まないフェライトの体積率が5%超であることから、目標値に対して、穴拡げ率 及び伸びが低く、伸びフランジ性および伸びに劣っている。鋼板No.26は、炭化物平均粒径は $0.10\mu\text{m}$ 以上 $1.2\mu\text{m}$ 未満であるが、粒径 $2.0\mu\text{m}$ 以上の炭化物の体積率が10%を越えているため、目標値に対して穴拡げ率 及び伸びが低く、伸びフランジ性および伸びに劣っている。

【産業上の利用可能性】

【0068】

本発明の熱延鋼板は、自動車部品以外にも、高延性であり、かつ優れた伸びフランジ性が要求される用途に対しても好適である。

---

フロントページの続き

(72)発明者 飯塚 俊治

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

(72)発明者 松岡 才二

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

Fターム(参考) 4K037 EA01 EA02 EA06 EA07 EA11 EA13 EA15 EA17 EA18 EA20  
EA23 EA25 EA27 EA28 EA33 EB06 EB07 EB08 EB09 FA03  
FC07 FD04 FD06 FD08 FE01 FE02 FE06 FF02 HA02 JA06