

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7564463号  
(P7564463)

(45)発行日 令和6年10月9日(2024.10.9)

(24)登録日 令和6年10月1日(2024.10.1)

(51)国際特許分類 F I  
 C 2 2 C 38/00 (2006.01) C 2 2 C 38/00 3 0 1 W  
 C 2 2 C 38/58 (2006.01) C 2 2 C 38/58  
 C 2 1 D 9/46 (2006.01) C 2 1 D 9/46 T

請求項の数 3 (全31頁)

(21)出願番号	特願2022-545465(P2022-545465)	(73)特許権者	000006655 日本製鉄株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(86)(22)出願日	令和3年6月15日(2021.6.15)	(74)代理人	100149548 弁理士 松沼 泰史
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/022662	(74)代理人	100140774 弁理士 大浪 一徳
(87)国際公開番号	WO2022/044492	(74)代理人	100134359 弁理士 勝俣 智夫
(87)国際公開日	令和4年3月3日(2022.3.3)	(74)代理人	100188592 弁理士 山口 洋
審査請求日	令和5年1月18日(2023.1.18)	(74)代理人	100217249 弁理士 堀田 耕一郎
(31)優先権主張番号	特願2020-143745(P2020-143745)	(74)代理人	100221279 弁理士 山口 健吾
(32)優先日	令和2年8月27日(2020.8.27)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 熱延鋼板

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

化学組成が、質量%で、

- C : 0 . 0 4 0 ~ 0 . 2 5 0 %、
- S i : 0 . 0 5 ~ 3 . 0 0 %、
- M n : 1 . 0 0 ~ 4 . 0 0 %、
- s o l . A l : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 %、
- P : 0 . 1 0 0 % 以下、
- S : 0 . 0 3 0 0 % 以下、
- N : 0 . 1 0 0 0 % 以下、
- O : 0 . 0 1 0 0 % 以下、
- T i : 0 ~ 0 . 3 0 0 %、
- N b : 0 ~ 0 . 3 0 0 %、
- V : 0 ~ 0 . 5 0 0 %、
- C u : 0 ~ 2 . 0 0 %、
- C r : 0 ~ 2 . 0 0 %、
- M o : 0 ~ 1 . 0 0 %、
- N i : 0 ~ 2 . 0 0 %、
- B : 0 ~ 0 . 0 1 0 0 %、
- C a : 0 ~ 0 . 0 2 0 0 %、

Mg : 0 ~ 0 . 0 2 0 0 %、  
 REM : 0 ~ 0 . 1 0 0 0 %、  
 Bi : 0 ~ 0 . 0 2 0 %、  
 Zr、Co、ZnおよびWのうち1種または2種以上：合計で0 ~ 1 . 0 0 %、並びに  
 Sn : 0 ~ 0 . 0 5 %を含有し、  
 残部がFeおよび不純物からなり、  
 金属組織が、  
 面積%で、  
 マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトが合計で92 . 0 %超、100 . 0 %  
 以下であり、  
 残留オーステナイトが3 . 0 %未満であり、  
 フェライトが5 . 0 %未満であり、  
 前記金属組織の周期性を示すE値が11 . 0以上であり、前記金属組織の均一性を示  
 すI値が1 . 0 2 0未満であり、  
 Mn濃度の標準偏差が0 . 6 0質量%以下であり、  
 引張強さが980MPa以上であることを特徴とする熱延鋼板。

10

## 【請求項2】

表層の平均結晶粒径が3 . 0 μm未満であることを特徴とする請求項1に記載の熱延鋼  
 板。

## 【請求項3】

20

前記化学組成が、質量%で、  
 Ti : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 3 0 0 %、  
 Nb : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 1 0 0 %、  
 V : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 5 0 0 %、  
 Cu : 0 . 0 1 ~ 2 . 0 0 %、  
 Cr : 0 . 0 1 ~ 2 . 0 0 %、  
 Mo : 0 . 0 1 ~ 1 . 0 0 %、  
 Ni : 0 . 0 2 ~ 2 . 0 0 %、  
 B : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 1 0 0 %、  
 Ca : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 0 %、  
 Mg : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 0 %、  
 REM : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 1 0 0 0 %、および  
 Bi : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 %  
 からなる群から選択される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2に記載の熱延鋼板。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、熱延鋼板に関する。具体的には、プレス加工等により様々な形状に成形して  
 利用される熱延鋼板、特に、高強度であり、且つ、穴広げ性およびせん断加工性に優れる  
 熱延鋼板に関する。

40

本願は、2020年8月27日に、日本に出願された特願2020 - 143745号に  
 基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、地球環境保護の観点から、多くの分野において炭酸ガス排出量の削減が取り組ま  
 れている。自動車メーカーにおいても低燃費化を目的とした車体軽量化の技術開発が盛ん  
 に行われている。しかし、乗員の安全確保のために耐衝突特性の向上にも重点が置かれる  
 ため、車体軽量化は容易ではない。

## 【0003】

50

車体軽量化と耐衝突特性とを両立させるべく、高強度鋼板を用いて部材を薄肉化することが検討されている。このため、高い強度と優れた成形性とを兼備する鋼板が強く望まれており、これらの要求に応えるべく、幾つかの技術が従来から提案されている。自動車部材には様々な加工様式があるため、要求される成形性は適用される部材により異なるが、その中でも穴広げ性は成形性の重要な指標として位置付けられている。また、自動車部材はプレス成形によって成形されるが、そのプレス成形のブランク板は生産性が高いせん断加工によって製造されることが多い。

【0004】

例えば、特許文献1には、平均結晶粒径が10 μm以下であるフェライト中に平均結晶粒径が5 μm以下である残留オーステナイトを分散させた、耐衝突安全性および成形性に優れた自動車用高強度鋼板が開示されている。金属組織に残留オーステナイトを含む鋼板では、加工中にオーステナイトがマルテンサイト変態して、変態誘起塑性により大きな伸びを示すものの、硬質なマルテンサイトの生成により穴広げ性が損なわれる。特許文献1には、フェライトおよび残留オーステナイトを微細化することにより、延性のみならず穴広げ性も向上する、と開示されている。

10

【0005】

特許文献2には、結晶粒内に残留オーステナイトおよび/またはマルテンサイトからなる第二相を微細に分散させた、伸びおよび穴広げ性に優れた引張強度が980 MPa以上の高強度鋼板が開示されている。

【0006】

特許文献3および4には、延性および穴広げ性に優れた高張力熱延鋼板およびその製造方法が開示されている。特許文献3には、熱間圧延完了後1秒間以内に720 以下の温度域まで冷却し、500 超720 以下の温度域に1~20秒間の滞在時間で滞在させた後、350~500 の温度域で巻き取る、延性および伸びフランジ性が良好な高強度熱延鋼板の製造方法が開示されている。また、特許文献4には、ベイナイトを主体とし、適量のポリゴナルフェライトと残留オーステナイトとを有するとともに、残留オーステナイトを除く鋼組織において15°以上の結晶方位差を有する粒界で囲まれる粒の平均粒径が15 μm以下である、延性および伸びフランジ性が良好な高強度熱延鋼板が開示されている。

20

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0007】

【文献】日本国特開平11-61326号公報

【文献】日本国特開2005-179703号公報

【文献】日本国特開2012-251200号公報

【文献】日本国特開2015-124410号公報

【非特許文献】

【0008】

【文献】J. Webel, J. Gola, D. Britz, F. Mucklich, *Materials Characterization* 144 (2018) 584-596

40

【文献】D. L. Naik, H. U. Sajid, R. Kiran, *Metals* 2019, 9, 546

【文献】K. Zuiderveld, *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*, Chapter VIII.5, *Graphics Gems IV*. P.S. Heckbert (Eds.), Cambridge, MA, Academic Press, 1994, pp. 474-485

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

## 【 0 0 0 9 】

自動車部材には様々な加工様式があるため、要求される成形性は適用される部材により異なるが、その中でも穴広げ性は成形性の重要な指標として位置付けられている。また、自動車部品はプレス成形によって成形されるが、そのプレス成形のブランク板は生産性が高いせん断加工によって製造されることが多く、せん断加工後の端面精度に優れる必要がある。特に980MPa以上の高強度鋼板では、せん断加工後のコイニング等の後処理に必要な荷重が大きくなるため、せん断加工後の端面における破断面の凹凸を特に高い精度で制御することが望まれている。

## 【 0 0 1 0 】

特許文献1～4に開示された技術は、いずれも強度と、穴広げ時のプレス成形性とを向上させる技術ではあるが、せん断加工性を向上させる技術については言及がなく、部品をプレス成形する段階で後処理が必要となり、製造コストが上昇すると推測される。

10

## 【 0 0 1 1 】

本発明は、従来技術の上記課題に鑑みてなされたものであり、高い強度を有するとともに、優れた穴広げ性およびせん断加工性を有する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】

## 【 0 0 1 2 】

本発明者らは、上述の課題に鑑み、熱延鋼板の化学組成および金属組織と機械特性との関係について鋭意研究を重ねた結果、以下の知見(a)～(f)を得て、本発明を完成した。

20

なお、優れたせん断加工性を有するとは、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性が高いことを示す。せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性が高ければ、せん断加工後の端面精度に優れているとみなすことができるためである。また、優れた強度または高い強度を有するとは、引張強さが980MPa以上であることを示す。

## 【 0 0 1 3 】

(a) 優れた引張(最大)強さおよび穴広げ性を得るためには、金属組織の母相組織は硬質であることが好ましい。すなわち、フェライトやベイナイト等の軟質な組織の分率はなるべく小さいことが好ましい。

## 【 0 0 1 4 】

(b) マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトを多量に形成するためには、オーステナイト組織を速やかに所定の温度まで冷却することが効果的である。そのため、熱延プロセス中には中間空冷を施さずに、所定の温度まで冷却することが効果的である。

30

## 【 0 0 1 5 】

(c) せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性を高めるには、Mn偏析が少なく、組織形態に周期性がなくランダムであり、かつ不均一である(均一性が低い)金属組織とすることが重要である。

## 【 0 0 1 6 】

(d) 具体的には、Mn濃度の標準偏差を一定値以下とすること、並びに、金属組織の周期性および金属組織の均一性を制御することが、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性を高めるために効果的である。

40

## 【 0 0 1 7 】

(e) Mn濃度の標準偏差を一定値以下とするためには、スラブ加熱工程およびその後の熱間圧延工程が重要である。例えば、700～850の温度域で900秒以上保持した後、更に加熱し、1100以上の温度域で6000秒以上保持すること、および850～1100の温度域で合計90%以上の板厚減となるような熱間圧延を行うことが効果的である。

## 【 0 0 1 8 】

(f) 組織形態の周期性を低下させるには、熱間圧延中のオーステナイトの再結晶挙動を制御することが重要である。例えば、熱間圧延の最終段の圧下率および圧延温度を所定の

50

範囲内に制御し、熱間圧延の最終段の1段前の圧延後、且つ最終段の圧延前の鋼板に負荷する応力を170kPa以上とし、熱間圧延の最終段の圧延後、且つ鋼板が800℃に冷却されるまでの鋼板に負荷する応力を200kPa未満とすることが効果的である。このような熱間圧延条件により、微細かつ等軸な再結晶オーステナイト粒を作り込むことができ、その後の冷却条件との組み合わせにより、組織形態の周期性を低下させることができる。

【0019】

上記知見に基づいてなされた本発明の要旨は、以下の通りである。

(1) 本発明の一態様に係る熱延鋼板は、化学組成が、質量%で、

C : 0.040 ~ 0.250 %、

10

Si : 0.05 ~ 3.00 %、

Mn : 1.00 ~ 4.00 %、

sol. Al : 0.001 ~ 0.500 %、

P : 0.100 %以下、

S : 0.0300 %以下、

N : 0.1000 %以下、

O : 0.0100 %以下、

Ti : 0 ~ 0.300 %、

Nb : 0 ~ 0.300 %、

20

V : 0 ~ 0.500 %、

Cu : 0 ~ 2.00 %、

Cr : 0 ~ 2.00 %、

Mo : 0 ~ 1.00 %、

Ni : 0 ~ 2.00 %、

B : 0 ~ 0.0100 %、

Ca : 0 ~ 0.0200 %、

Mg : 0 ~ 0.0200 %、

REM : 0 ~ 0.1000 %、

Bi : 0 ~ 0.020 %、

Zr、Co、ZnおよびWのうち1種または2種以上：合計で0 ~ 1.00 %、並びに

30

Sn : 0 ~ 0.05 %を含有し、

残部がFeおよび不純物からなり、

金属組織が、

面積%で、

マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトが合計で92.0 %超、100.0 %以下であり、

残留オーステナイトが3.0 %未満であり、

フェライトが5.0 %未満であり、

前記金属組織の周期性を示すE値が11.0以上であり、前記金属組織の均一性を示すI値が1.020未満であり、

40

Mn濃度の標準偏差が0.60質量%以下であり、

引張強さが980MPa以上であることを特徴とする。

(2) 上記(1)に記載の熱延鋼板は、表層の平均結晶粒径が3.0 μm未満であってもよい。

(3) 上記(1)または(2)に記載の熱延鋼板は、前記化学組成が、質量%で、

Ti : 0.005 ~ 0.300 %、

Nb : 0.005 ~ 0.100 %、

V : 0.005 ~ 0.500 %、

Cu : 0.01 ~ 2.00 %、

Cr : 0.01 ~ 2.00 %、

50

M o : 0 . 0 1 ~ 1 . 0 0 %、  
 N i : 0 . 0 2 ~ 2 . 0 0 %、  
 B : 0 . 0 0 0 1 ~ 0 . 0 1 0 0 %、  
 C a : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 0 %、  
 M g : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 0 %、  
 R E M : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 1 0 0 0 %、および  
 B i : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 %

からなる群から選択される 1 種または 2 種以上を含有してもよい。

【発明の効果】

【0020】

本発明に係る上記態様によれば、優れた強度、穴広げ性およびせん断加工性を有する熱延鋼板を得ることができる。また、本発明に係る上記の好ましい態様によれば、上記諸特性を有した上で更に、曲げ内割れの発生が抑制された、すなわち耐曲げ内割れ性に優れた熱延鋼板を得ることができる。

本発明の上記態様に係る熱延鋼板は、自動車部材、機械構造部材さらには建築部材に用いられる工業用素材として好適である。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性の測定方法を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本実施形態に係る熱延鋼板の化学組成および金属組織について、以下により具体的に説明する。ただし、本発明は本実施形態に開示の構成のみに制限されることなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。

以下に「～」を挟んで記載する数値限定範囲には、下限値および上限値がその範囲に含まれる。「未満」または「超」と示す数値には、その値が数値範囲に含まれない。以下の説明において、鋼板の化学組成に関する％は特に指定しない限り質量％である。

【0023】

1. 化学組成

本実施形態に係る熱延鋼板は、質量％で、C : 0 . 0 4 0 ~ 0 . 2 5 0 %、S i : 0 . 0 5 ~ 3 . 0 0 %、M n : 1 . 0 0 ~ 4 . 0 0 %、s o l . A l : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 5 0 0 %、P : 0 . 1 0 0 % 以下、S : 0 . 0 3 0 0 % 以下、N : 0 . 1 0 0 0 % 以下、O : 0 . 0 1 0 0 % 以下、並びに、残部：F e および不純物を含む。以下に各元素について詳細に説明する。

【0024】

(1-1) C : 0 . 0 4 0 ~ 0 . 2 5 0 %

C は、硬質相の面積分率を上昇させる。また、C は、T i、N b、V 等の析出強化元素と結合することで、マルテンサイトの強度を上昇させる。C 含有量が 0 . 0 4 0 % 未満では、所望の強度を得ることが困難となる。また、C 含有量が 0 . 0 4 0 % 未満では、フェライト分率が増大し、平坦なフェライト組織の影響により I 値も増大する。したがって、C 含有量は 0 . 0 4 0 % 以上とする。C 含有量は、好ましくは 0 . 0 6 0 % 以上、より好ましくは 0 . 0 7 0 % 以上である。一方、C 含有量が 0 . 2 5 0 % 超では、強度の低いパーライトの生成が促進され、マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積分率が低下することで、熱延鋼板の強度が低下する。また、C 含有量が 0 . 2 5 0 % 超では、平坦なセメント組織が増大し、輝度差の小さい炭化物の領域が生成する影響により E 値が低下する。したがって、C 含有量は 0 . 2 5 0 % 以下とする。C 含有量は好ましくは 0 . 1 5 0 % 以下である。

【0025】

(1-2) S i : 0 . 0 5 ~ 3 . 0 0 %

10

20

30

40

50

Siは、セメンタイトの析出を遅延させる作用を有する。この作用により、マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積分率を高めることができ、また固溶強化により鋼板の強度を高めることができる。また、Siは脱酸により鋼を健全化する（鋼にブローホールなどの欠陥が生じることを抑制する）作用を有する。Si含有量が0.05%未満では、上記作用による効果を得ることができない。また、Si含有量が0.05%未満では、平坦なセメンタイト組織が増大し、輝度差の小さい炭化物の領域が生成する影響でI値も増大する。したがって、Si含有量は0.05%以上とする。Si含有量は、好ましくは0.50%以上、1.00%以上である。しかし、Si含有量が3.00%超では、鋼板の表面性状および化成処理性、さらには穴広げ性および溶接性が著しく劣化するとともに、A<sub>3</sub>変態点が著しく上昇する。これにより、安定して熱間圧延を行うことが困難になる。また、Si含有量が3.00%超では、フェライト分率が増大し、平坦なフェライト組織の影響でE値が減少する。したがって、Si含有量は3.00%以下とする。Si含有量は、好ましくは2.70%以下、より好ましくは2.50%以下である。

#### 【0026】

(1-3) Mn: 1.00~4.00%

Mnは、フェライト変態を抑制して鋼板を高強度化する作用を有する。Mn含有量が1.00%未満では、980MPa以上の引張強さを得ることができない。したがって、Mn含有量は1.00%以上とする。Mn含有量は、好ましくは1.50%以上、2.00%以上、2.30%以上である。一方、Mn含有量が4.00%超では、Mnの偏析に起因して、硬質相中の結晶粒の結晶方位差が不均一となり、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性が低下する。したがって、Mn含有量は4.00%以下とする。Mn含有量は、好ましくは3.70%以下、3.50%以下である。

#### 【0027】

(1-4) sol. Al: 0.001~0.500%

Alは、Siと同様に、鋼を脱酸して鋼板を健全化する作用を有するとともに、オーステナイトからのセメンタイトの析出を抑制することで、マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積分率を増加させる作用を有する。sol. Al含有量が0.001%未満では上記作用による効果を得ることができない。したがって、sol. Al含有量は、0.001%以上とする。sol. Al含有量は、好ましくは0.010%以上である。一方、sol. Al含有量が0.500%超では、上記効果が飽和するとともに経済的に好ましくないため、sol. Al含有量は0.500%以下とする。sol. Al含有量は、好ましくは0.400%以下、0.300%以下である。

なお、本実施形態においてsol. Alとは、酸可溶性Alを意味し、固溶状態で鋼中に存在する固溶Alのことを示す。

#### 【0028】

(1-5) P: 0.100%以下

Pは、一般的に不純物として含有される元素であるが、固溶強化により強度を高める作用を有する元素でもある。したがって、Pを積極的に含有させてもよいが、Pは偏析し易い元素であり、P含有量が0.100%を超えると、粒界偏析に起因する穴広げ性の低下が顕著となる。したがって、P含有量は、0.100%以下に制限する。P含有量は、好ましくは0.030%以下である。P含有量の下限は特に規定する必要はないが、精錬コストの観点から、0.001%とすることが好ましい。

#### 【0029】

(1-6) S: 0.0300%以下

Sは、不純物として含有される元素であり、鋼中に硫化物系介在物を形成して熱延鋼板の穴広げ性を低下させる。S含有量が0.0300%を超えると、鋼板の穴広げ性が著しく低下する。したがって、S含有量は0.0300%以下に制限する。S含有量は、好ましくは0.0050%以下である。S含有量の下限は特に規定する必要はないが、精錬コストの観点から、0.0001%とすることが好ましい。

#### 【0030】

10

20

30

40

50

(1-7) N : 0.1000%以下

Nは、不純物として鋼中に含有される元素であり、鋼板の穴広げ性を低下させる作用を有する。N含有量が0.1000%超では、鋼板の穴広げ性が著しく低下する。したがって、N含有量は0.1000%以下とする。N含有量は、好ましくは0.0800%以下であり、さらに好ましくは0.0700%以下である。N含有量の下限は特に規定する必要はないが、0.0001%としてもよい。後述するようにTi、NbおよびVの1種または2種以上を含有させて金属組織の微細化を図る場合には、炭窒化物の析出を促進させるためにN含有量は0.0010%以上とすることが好ましく、0.0020%以上とすることがより好ましい。

【0031】

(1-8) O : 0.0100%以下

Oは、鋼中に多く含まれると破壊の起点となる粗大な酸化物を形成し、脆性破壊や水素誘起割れを引き起こす。そのため、O含有量は0.0100%以下に制限する。O含有量は、0.0080%以下、0.0050%以下とすることが好ましい。溶鋼の脱酸時に微細な酸化物を多数分散させるために、O含有量は0.0005%以上、0.0010%以上としてもよい。

【0032】

本実施形態に係る熱延鋼板の化学組成の残部は、Feおよび不純物からなってもよい。本実施形態において、不純物とは、原料としての鉱石、スクラップ、または製造環境等から混入されるものであって、本実施形態に係る熱延鋼板に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。

【0033】

本実施形態に係る熱延鋼板は、上記元素に加え、Ti、Nb、V、Cu、Cr、Mo、Ni、B、Ca、Mg、REM、Bi、Zr、Co、Zn、WおよびSnを任意元素として含有してもよい。上記任意元素を含有させない場合の含有量の下限は0%である。以下、上記任意元素について詳細に説明する。

【0034】

(1-9) Ti : 0.005~0.300%、Nb : 0.005~0.100%およびV : 0.005~0.500%

Ti、NbおよびVは、いずれも、鋼中に炭化物または窒化物として析出し、ピン止め効果によって金属組織を微細化する作用を有するため、これらの元素の1種または2種以上を含有させてもよい。上記作用による効果をより確実に得るためには、Ti含有量を0.005%以上とするか、Nb含有量を0.005%以上とするか、あるいはV含有量を0.005%以上とすることが好ましい。すなわち、Ti、NbおよびVの1種でもその含有量を0.005%以上とすることが好ましい。しかし、これらの元素を過剰に含有させても、上記作用による効果が飽和して経済的に好ましくない。したがって、Ti含有量は0.300%以下とし、Nb含有量は0.100%以下とし、V含有量は0.500%以下とする。

【0035】

(1-10) Cu : 0.01~2.00%、Cr : 0.01~2.00%、Mo : 0.01~1.00%、Ni : 0.02~2.00%およびB : 0.0001~0.0100%

Cu、Cr、Mo、NiおよびBは、いずれも、熱延鋼板の焼入性を高める作用を有する。また、CuおよびMoは低温で鋼中に炭化物を析出して強度を高める作用を有する。さらに、Niは、Cuを含有させる場合においては、Cuに起因するスラブの粒界割れを効果的に抑制する作用を有する。したがって、これらの元素の1種または2種以上を含有させてもよい。

【0036】

上述したようにCuは、熱延鋼板の焼入れ性を高める作用および低温で鋼中に炭化物として析出して鋼板の強度を高める作用を有する。上記作用による効果をより確実に得るためには、Cu含有量は0.01%以上とすることが好ましく、0.05%以上とすること

10

20

30

40

50

がより好ましい。しかし、Cu含有量が2.00%超では、スラブの粒界割れが生じる場合がある。したがって、Cu含有量は2.00%以下とする。Cu含有量は、好ましくは1.50%以下、1.00%以下である。

【0037】

上述したようにCrは、熱延鋼板の焼入性を高める作用および低温で鋼中に炭化物を析出して強度を高める作用を有する。上記作用による効果をより確実に得るためには、Cr含有量を0.01%以上、0.05%以上とすることが好ましい。しかし、Cr含有量が2.00%超では、鋼板の化成処理性が著しく低下する。したがって、Cr含有量は2.00%以下とする。

【0038】

上述したようにMoは、熱延鋼板の焼入性を高める作用および鋼中に炭化物を析出して強度を高める作用を有する。上記作用による効果をより確実に得るためには、Mo含有量を0.01%以上、0.02%以上とすることが好ましい。しかし、Mo含有量を1.00%超としても上記作用による効果は飽和して経済的に好ましくない。したがって、Mo含有量は1.00%以下とする。Mo含有量は、好ましくは0.50%以下、0.20%以下である。

【0039】

上述したようにNiは、熱延鋼板の焼入性を高める作用を有する。またNiは、Cuを含有させる場合においては、Cuに起因するスラブの粒界割れを効果的に抑制する作用を有する。上記作用による効果をより確実に得るためには、Ni含有量を0.02%以上とすることが好ましい。Niは、高価な元素であるため、多量に含有させることは経済的に好ましくない。したがって、Ni含有量は2.00%以下とする。

【0040】

上述したようにBは、熱延鋼板の焼入れ性を高める作用を有する。この作用による効果をより確実に得るためには、B含有量を0.0001%以上、0.0002%以上とすることが好ましい。しかし、B含有量が0.0100%超では、鋼板の穴広げ性が著しく低下するため、B含有量は0.0100%以下とする。B含有量は、0.0050%以下とすることが好ましい。

【0041】

(1-11) Ca: 0.0005~0.0200%、Mg: 0.0005~0.0200%、REM: 0.0005~0.1000%およびBi: 0.0005~0.020%

Ca、MgおよびREMは、いずれも、介在物の形状を好ましい形状に調整することにより、熱延鋼板の穴広げ性を高める作用を有する。また、Biは、凝固組織を微細化することにより、熱延鋼板の成形性を高める作用を有する。したがって、これらの元素の1種または2種以上を含有させてもよい。上記作用による効果をより確実に得るためには、Ca、Mg、REMおよびBiのいずれか1種以上を0.0005%以上とすることが好ましい。しかし、Ca含有量またはMg含有量が0.0200%を超えると、あるいはREM含有量が0.1000%を超えると、鋼中に介在物が過剰に生成され、却って鋼板の穴広げ性を低下させる場合がある。また、Bi含有量を0.020%超としても、上記作用による効果は飽和してしまい、経済的に好ましくない。したがって、Ca含有量およびMg含有量を0.0200%以下、REM含有量を0.1000%以下、並びにBi含有量を0.020%以下とする。Bi含有量は、好ましくは0.010%以下である。

ここで、REMは、Sc、Yおよびランタノイドからなる合計17元素を指し、上記REMの含有量は、これらの元素の合計含有量を指す。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。

【0042】

(1-12) Zr、Co、ZnおよびWのうち1種または2種以上: 合計で0~1.00%並びにSn: 0~0.05%

Zr、Co、ZnおよびWについて、本発明者らは、これらの元素を合計で1.00%以下含有させても、本実施形態に係る熱延鋼板の効果は損なわれないことを確認している

10

20

30

40

50

。そのため、Zr、Co、ZnおよびWのうち1種または2種以上を合計で1.00%以下含有させてもよい。

また、本発明者らは、Snを少量含有させても本実施形態に係る熱延鋼板の効果は損なわれないことを確認している。しかし、熱間圧延時に疵が発生する場合があるため、Sn含有量は0.05%以下とする。

#### 【0043】

上述した熱延鋼板の化学組成は、一般的な分析方法によって測定すればよい。例えば、ICP-AES (Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry) を用いて測定すればよい。なお、sol . Alは、試料を酸で加熱分解した後の濾液を用いてICP-AESによって測定すればよい。CおよびSは燃焼 - 赤外線吸収法を用い、Nは不活性ガス融解 - 熱伝導度法を用い、Oは不活性ガス融解 - 非分散型赤外線吸収法を用いて測定すればよい。

10

#### 【0044】

### 2. 熱延鋼板の金属組織

次に、本実施形態に係る熱延鋼板の金属組織について説明する。

本実施形態に係る熱延鋼板では、金属組織が、面積%で、マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトが合計で92.0%超、100.0%以下であり、残留オーステナイトが3.0%未満であり、フェライトが5.0%未満であり、前記金属組織の周期性を示すE値が11.0以上であり、前記金属組織の均一性を示すI値が1.020未満であり、Mn濃度の標準偏差が0.60質量%以下である。そのため、本実施形態に係る熱延鋼板は、優れた強度、穴広げ性およびせん断加工性を得ることができる。なお、本実施形態では、圧延方向に平行な断面の、表面から板厚の1/4深さ位置且つ板幅方向中央位置における金属組織を規定する。その理由は、この位置における金属組織が、鋼板の代表的な金属組織を示すからである。

20

#### 【0045】

#### (2-1) 残留オーステナイトの面積分率：3.0%未満

残留オーステナイトは室温でも面心立方格子として存在する金属組織である。残留オーステナイトは、変態誘起塑性 (TRIP) により熱延鋼板の穴広げ性を高める作用を有する。一方、残留オーステナイトは、せん断加工中には高炭素のマルテンサイトに変態するため、安定的なき裂発生を阻害し、せん断加工後の端面における破断面とせん断面と境界の直線性を低下させる原因となる。残留オーステナイトの面積分率が3.0%以上では、上記作用が顕在化し、熱延鋼板のせん断加工性が劣化する (せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性が低下する) ばかりか、穴広げ性も低下する。したがって、残留オーステナイトの面積分率は3.0%未満とする。残留オーステナイトの面積分率は、好ましくは1.5%以下であり、より好ましくは1.0%未満である。残留オーステナイトは少ない程好ましいため、残留オーステナイトの面積分率は0%であってもよい。

30

#### 【0046】

#### (2-2) フェライトの面積分率：5.0%未満

フェライトは一般に軟質な金属組織である。所定量以上のフェライトを含有すると、所望の強度を得られない場合、およびせん断加工後の端面におけるせん断面の領域が増大する可能性がある。せん断加工後の端面におけるせん断面の領域が増大すると、端面における破断面とせん断面との境界の直線性が低下するため、好ましくない。フェライトの面積分率が5.0%以上では、上記作用が顕在化し、熱延鋼板のせん断加工性が劣化する。したがって、フェライトの面積分率は5.0%未満とする。フェライトの面積分率は、好ましくは3.0%以下であり、より好ましくは2.0%以下であり、より一層好ましくは1.0%未満である。フェライトは少ない程好ましいため、フェライトの面積分率は0%であってもよい。

40

#### 【0047】

残留オーステナイトの面積分率の測定方法には、X線回折、EBSP (電子後方散乱回

50

折像、Electron Back Scattering Diffraction Pattern) 解析、磁気測定による方法などがあり、測定方法によって測定値が異なる場合がある。本実施形態では、残留オーステナイトの面積分率はX線回折により測定する。

本実施形態におけるX線回折による残留オーステナイト面積分率の測定では、まず、熱延鋼板の板厚の1/4深さ位置(表面から板厚の1/8深さ~表面から板厚の3/8深さの領域)、且つ板幅方向中央位置における、圧延方向に平行な断面において、Co-K $\alpha$ 線を用いて、(110)、(200)、(211)、(111)、(200)、(220)の計6ピークの積分強度を求め、強度平均法を用いて算出することで残留オーステナイトの面積分率を得る。

#### 【0048】

フェライトの面積分率の測定は、以下の方法で行う。圧延方向に平行な断面を鏡面に仕上げ、室温においてアルカリ性溶液を含まないコロイダルシリカを用いて8分間研磨し、サンプルの表層に導入されたひずみを除去する。サンプル断面の長手方向の任意の位置において、長さ50 $\mu$ m、表面から板厚の1/8深さ~表面から板厚の3/8深さの領域を、0.1 $\mu$ mの測定間隔で電子後方散乱回折法により測定して結晶方位情報を得る。測定には、サーマル電界放射型走査電子顕微鏡(JEOL製JSM-7001F)とEBSD検出器(TSL製DVC5型検出器)とで構成されたEBSD解析装置を用いる。この際、EBSD解析装置内の真空度は $9.6 \times 10^{-5}$  Pa以下、加速電圧は15 kV、照射電流レベルは13、電子線の照射レベルは62とする。

#### 【0049】

次に、同一視野において反射電子像を撮影する。反射電子像からフェライトとセメンタイトとが層状に析出した結晶粒を特定し、当該結晶粒の面積分率を算出することで、パーライトの面積分率を得ることができる。

#### 【0050】

その後、パーライトと判別された結晶粒を除く結晶粒に対し、得られた結晶方位情報をEBSD解析装置に付属のソフトウェア「OIM Analysis(登録商標)」に搭載された「Grain Average Misorientation」機能を用いて、Grain Average Misorientation値が $1.0^\circ$ 以下の領域をフェライトと判定する。フェライトと判定された領域の面積分率を求めることで、フェライトの面積分率を得る。

#### 【0051】

続いて、残部領域(Grain Average Misorientation値が $1.0^\circ$ 超の領域)の内、 $5^\circ$ 粒界を結晶粒界の定義とした条件下で、フェライト領域の「Grain Average IQ」の最大値をIとしたとき、I/2超となる領域をベイナイトとして抽出する。抽出したベイナイトの面積率を算出することで、ベイナイトの面積分率を得ることができる。

#### 【0052】

(2-3) マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積分率の合計:  $92.0\%$ 超、 $100.0\%$ 以下

マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積分率の合計が $92.0\%$ 以下であると所望の強度を得ることができない。そのため、マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積分率の合計は $92.0\%$ 超とする。好ましくは $95.0\%$ 以上、 $97.0\%$ 以上、 $99.0\%$ 以上である。マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積分率の合計は多い程好ましいため、 $100.0\%$ としてもよい。

#### 【0053】

マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積分率の測定方法について、以下に説明する。

まず、フェライトの面積分率を測定したEBSD測定領域と同領域をSEMで観察するために、観察位置近傍にピッカーズ圧痕を打刻する。その後、観察面の組織を残して、表層のコンタミを研磨除去し、ナイタールエッチングする。次に、EBSD観察面と同一視

10

20

30

40

50

野をSEMにより倍率3000倍で観察する。EBSD測定において、フェライト以外の組織と判別された領域の内、粒内に下部組織を有し、かつ、セメンタイトが複数のバリエーションを持って析出している領域を焼き戻しマルテンサイトと判断する。輝度が大きく、かつ下部組織がエッチングにより現出されていない領域を「マルテンサイトおよび残留オーステナイト」と判断する。それぞれの面積分率を算出することで、焼き戻しマルテンサイトの面積分率、並びに「マルテンサイトおよび残留オーステナイト」の面積分率を得る。得られた「マルテンサイトおよび残留オーステナイト」の面積分率から、上述のX線回折により得られた残留オーステナイトの面積分率を差し引くことにより、マルテンサイトの面積分率を得る。マルテンサイトの面積分率および焼き戻しマルテンサイトの面積分率の合計を算出することで、マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積分率の合計を得る。

10

なお、観察面表層のコンタミ除去については、粒子径 $0.1\mu\text{m}$ 以下のアルミナ粒子を用いたバフ研磨、あるいはAryonsパツタリング等の手法を用いればよい。

#### 【0054】

本実施形態に係る熱延鋼板には、残部組織として、合計の面積分率が0%以上、8.0%未満のベイナイトおよびパーライトの1種または2種が含まれていてもよい。

#### 【0055】

(2-4) E値: 11.0以上、I値: 1.020未満

せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性を高めるには、金属組織の周期性を低減し、且つ金属組織の均一性を低減することが重要である。本実施形態では、金属組織の周期性を示すE (Entropy) 値および金属組織の均一性を示すI (Inversed differenced moment norm) 値を制御することで、せん断加工後の端面における破断面とせん断面と境界の直線性を高める。

20

#### 【0056】

E値は金属組織の周期性を表す。バンド状組織が形成する等の影響で輝度が周期的に配列している、すなわち金属組織の周期性が高い場合にはE値は低下する。本実施形態では、周期性が低い金属組織とする必要があるため、E値を高める必要がある。E値が11.0未満であると、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性が低下しやすくなる。周期性が高い、すなわちE値が低い金属組織では、周期的に配列した組織を起点として、起点付近に存在する複数のバンド状の組織を伝って、き裂が発生して破断面が形成される。これにより、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性が低下しやすくなると推定される。よって、E値は11.0以上とする。好ましくは11.1以上であり、より好ましくは11.2以上である。E値は高い程好ましく、上限は特に規定しないが、13.5以下、13.0以下、12.5以下または12.0以下としてもよい。

30

#### 【0057】

I値は金属組織の均一性を表し、一定の輝度を持つ領域の面積が広いほど上昇する。I値が高いことは、金属組織の均一性が高いことを意味する。本実施形態では、輝度の均一性の低いマルテンサイトを主体とした金属組織とする必要があるため、I値を減少させる必要がある。金属組織の均一性が高い、すなわちI値が高いと、結晶粒内の析出物および元素濃度差、並びに軟質なフェライト相に起因する硬度差の影響により、せん断工具の先端からき裂が発生しやすくなる。その結果、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性が低下しやすくなる。すなわち、I値が1.020以上であると、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性を高めることができないと推定される。よって、I値は1.020未満とする。好ましくは1.015以下であり、より好ましくは1.010以下である。I値の下限は特に規定しないが、0.900以上、0.950以上または1.000以上としてもよい。

40

#### 【0058】

E値およびI値は以下の方法により得ることができる。

本実施形態において、E値およびI値を算出するために撮影するSEM画像の撮影領域

50

は、圧延方向に平行な断面における、鋼板表面から板厚の1/4深さ位置（表面から板厚の1/8深さ～表面から板厚の3/8深さの領域）、且つ、板幅方向中央位置とする。SEM画像の撮影には、株式会社日立ハイテクノロジー製SU-6600ショットキー電子銃を使用し、エミッタをタングステンとし、加速電圧を1.5kVとする。以上の設定のもと、倍率1000倍で、256階調のグレースケールにてSEM画像を出力する。

【0059】

次に、得られたSEM画像を880×880ピクセルの領域に切り出した画像に、非特許文献3に記載の、コントラスト強調の制限倍率を2.0とした、タイルグリッドサイズが8×8の平滑化処理を施す。90度を除いて、0度から179度まで1度毎に反時計回りに平滑化処理後のSEM画像を回転させ、1度毎に画像を作成することで、合計で179枚の画像を得る。次に、これら179枚の画像それぞれに対し、非特許文献1に記載のGLCM法を用いて、隣接するピクセル間の輝度の頻度値を行列の形式にて採取する。

10

【0060】

以上の方法により採取された179個の頻度値の行列を、kを元画像からの回転角度として、 $p_k$  ( $k = 0 \dots 89, 91, \dots 179$ )と表現する。各画像に対し、生成された $p_k$ を全てのk ( $k = 0 \dots 89, 91 \dots 179$ )について合計した後に、各成分の総和が1となるように規格化した256×256の行列Pを算出する。更に、非特許文献2に記載の下記式(1)および式(2)を用いて、E値およびI値をそれぞれ算出する。下記式(1)および式(2)では、行列Pのi行j列目の値を $P_{ij}$ と表記している。

20

【0061】

【数1】

$$E = - \sum_{i=1, j=1}^{i=256, j=256} P_{ij} \log P_{ij} \quad (1)$$

【0062】

【数2】

$$I = \sum_{i=1, j=1}^{i=256, j=256} P_{ij} / (1 + |i - j| / 256) \quad (2)$$

30

【0063】

(2-5) Mn濃度の標準偏差：0.60質量%以下

本実施形態に係る熱延鋼板の表面から板厚の1/4深さ位置且つ板幅方向中央位置におけるMn濃度の標準偏差は0.60質量%以下である。これにより、硬質相を均一に分散させることができ、端面における破断面とせん断面との境界の直線性の低下を防ぐことができる。すなわち、せん断加工性を向上することができる。Mn濃度の標準偏差は、0.50質量%以下が好ましく、0.47質量%以下がより好ましい。Mn濃度の標準偏差の下限は、過大バリの抑制の観点から、その値は小さいほど望ましいが、製造プロセスの制約より、実質的な下限は0.10質量%である。

40

【0064】

熱延鋼板の圧延方向に平行な断面(L断面)を鏡面研磨した後に、鋼板の表面から板厚の1/4深さ位置（表面から板厚の1/8深さ～表面から板厚の3/8深さの領域）、且つ板幅方向中央位置を電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)で測定して、Mn濃度の標準偏差を測定する。測定条件は加速電圧を15kVとし、倍率を5000倍として試料圧延方向に20μm及び試料板厚方向に20μmの範囲の分布像を測定する。より具体的には、測定間隔を0.1μmとし、40000か所以上のMn濃度を測定する。次い

50

で、全測定点から得られたMn濃度に基づいて標準偏差を算出することで、Mn濃度の標準偏差を得る。

#### 【0065】

(2-6) 表層の平均結晶粒径：3.0 μm未満

表層の結晶粒径が細かいと、熱延鋼板の曲げ内割れを抑制することができる。鋼板強度が高くなるほど、曲げ加工時に曲げ内側から亀裂が生じやすくなる（以下、曲げ内割れと呼称する）。曲げ内割れのメカニズムは以下のように推定される。曲げ加工時には曲げ内側に圧縮の応力が生じる。最初は曲げ内側全体が均一に変形しながら加工が進むが、加工量が大きくなると均一な変形のみで変形を担えなくなり、局所にひずみが集中することで変形が進む（せん断変形帯の発生）。このせん断変形帯が更に成長することで曲げ内側表面からせん断帯に沿った亀裂が発生し、成長する。高強度化に伴い曲げ内割れが発生しやすくなる理由は、高強度化に伴う加工硬化能の低下により、均一な変形が進みにくくなり、変形の偏りが生じやすくなることで、加工早期に（または緩い加工条件で）せん断変形帯が生じるためと推定される。

10

#### 【0066】

本発明者らの研究により、曲げ内割れは、引張強さ980MPa以上の鋼板で顕著になることが分かった。また、本発明者らは、熱延鋼板の表層の結晶粒径が細かいほど、局所的なひずみ集中が抑制され、曲げ内割れが発生しにくくなることを見出した。上記作用を得るためには、熱延鋼板の表層の平均結晶粒径は3.0 μm未満とすることが好ましい。より好ましくは2.5 μm以下とする。

20

なお、本実施形態において表層とは、熱延鋼板の表面～表面から深さ50 μm位置の領域である。

#### 【0067】

表層の結晶粒径は、前述のEBSP-OIM法を用いて測定する。圧延方向に平行な断面における、熱延鋼板の表面～表面から深さ50 μm位置且つ板幅方向中央位置の領域において、1200倍の倍率、40 μm×30 μmの領域で、少なくとも5視野において解析を行い、隣接する測定点の角度差が5°以上の場所を結晶粒界と定義し、面積平均の結晶粒径を算出する。得られた面積平均の結晶粒径を、表層の平均結晶粒径とする。

なお、残留オーステナイトは600以下の相変態で生成した組織でなく、転位蓄積の効果を有さないため、本測定方法では、残留オーステナイトは解析の対象としない。EBSP-OIM法では、結晶構造がfccである残留オーステナイトを解析対象から除外することができる。

30

#### 【0068】

##### 3. 引張強度特性

本実施形態に係る熱延鋼板は、引張（最大）強さが980MPa以上である。引張強さが980MPa未満であると、適用部品が限定され、車体軽量化の寄与が小さい。上限は特に限定する必要は無いが、金型摩耗抑制の観点から、1780MPaとしてもよい。

引張強さは、JIS Z 2241：2011の5号試験片を用いて、JIS Z 2241：2011に準拠して測定する。引張試験片の採取位置は、板幅方向の端部から1/4部分とし、圧延方向に直角な方向を長手方向とすればよい。

40

#### 【0069】

##### 4. 穴広げ特性

本実施形態に係る熱延鋼板は、穴広げ率が55%以上であることが好ましい。穴広げ率が55%以上であると、適用部品が限定されることなく、車体軽量化の寄与が大きい熱延鋼板を得ることができる。上限は特に限定する必要は無い。

穴広げ率は、JIS Z 2241：2011の5号試験片を用いて、JIS Z 2256：2010に準拠して測定する。穴広げ試験片の採取位置は、熱延鋼板の板幅方向の端部から1/4部分とすればよい。

#### 【0070】

##### 5. 板厚

50

本実施形態に係る熱延鋼板の板厚は特に限定されないが、0.5～8.0mmとしてもよい。熱延鋼板の板厚を0.5mm以上とすることで、圧延完了温度の確保が容易になるとともに圧延荷重を低減でき、熱間圧延を容易に行うことができる。したがって、本実施形態に係る熱延鋼板の板厚は0.5mm以上としてもよい。好ましくは1.2mm以上、1.4mm以上である。また、板厚を8.0mm以下とすることで、金属組織の微細化が容易となり、上述した金属組織を容易に確保することができる。したがって、板厚は8.0mm以下としてもよい。好ましくは6.0mm以下である。

【0071】

6. その他

(6-1) めっき層

上述した化学組成および金属組織を有する本実施形態に係る熱延鋼板は、表面に耐食性の向上等を目的としてめっき層を備えさせて表面処理鋼板としてもよい。めっき層は電気めっき層であってもよく溶融めっき層であってもよい。電気めっき層としては、電気亜鉛めっき、電気Zn-Ni合金めっき等が例示される。溶融めっき層としては、溶融亜鉛めっき、合金化溶融亜鉛めっき、溶融アルミニウムめっき、溶融Zn-Al合金めっき、溶融Zn-Al-Mg合金めっき、溶融Zn-Al-Mg-Si合金めっき等が例示される。めっき付着量は特に制限されず、従来と同様としてよい。また、めっき後に適当な化成処理（例えば、シリケート系のクロムフリー化成処理液の塗布と乾燥）を施して、耐食性をさらに高めることも可能である。

【0072】

7. 製造条件

上述した化学組成および金属組織を有する本実施形態に係る熱延鋼板の好適な製造方法は、以下の通りである。

【0073】

本実施形態に係る熱延鋼板を得るためには、所定の条件でスラブの加熱を行った後に熱間圧延を行い、所定の温度域まで加速冷却し、巻き取った後の冷却履歴を制御することが重要である。

【0074】

本実施形態に係る熱延鋼板の好適な製造方法では、以下の工程(1)～(8)を順次行う。なお、本実施形態におけるスラブの温度および鋼板の温度は、スラブの表面温度および鋼板の表面温度のことをいう。

(1) スラブを700～850の温度域で900秒以上保持した後、更に加熱し、1100以上の温度域で6000秒以上保持する。

(2) 850～1100の温度域で合計90%以上の板厚減となるような熱間圧延を行う。

(3) 熱間圧延の最終段から1段前の圧延後、且つ最終段の圧延前に、170kPa以上の応力を鋼板に負荷する。

(4) 熱間圧延の最終段における圧下率を8%以上とし、圧延完了温度 $T_f$ が900以上、960未満となるように熱間圧延を完了する。

(5) 熱間圧延の最終段の圧延後、且つ鋼板が800まで冷却されるまでに鋼板に負荷する応力を200kPa未満とする。

(6) 熱間圧延完了後1秒以内に、熱間圧延完了温度 $T_f - 50$ 以下の温度域まで冷却した後、50/秒以上の平均冷却速度で、下記式<1>により表される温度 $T_1$ ( )まで加速冷却する。ただし、熱間圧延完了後1秒以内に、熱間圧延完了温度 $T_f - 50$ 以下の温度域まで冷却することは、より好ましい冷却条件である。

(7)  $T_1$ ( )から巻き取り温度までを50/秒以上の平均冷却速度で冷却する。

(8) 巻き取り温度を350以下とする。

【0075】

$T_1$ ( ) =  $770 - 270 \times [C] - 90 \times [Mn] - 37 \times [Ni] - 70 \times [Cr] - 83 \times [Mo] \dots < 1 >$

10

20

30

40

50

ただし、各式中の〔元素記号〕は各元素の鋼中の含有量（質量％）を示す。当該元素を含有しない場合は0を代入する。

【0076】

上記製造方法を採用することにより、強度、穴抜け性およびせん断加工性に優れる金属組織を有する熱延鋼板を安定して製造することができる。すなわち、スラブ加熱条件と熱延条件とを適正に制御することによって、Mn偏析の低減と変態前オーステナイトの等軸化とが図られ、後述する熱間圧延後の冷却条件と相俟って、所望の金属組織を有する熱延鋼板を安定して製造することができる。

【0077】

(7-1) スラブ、熱間圧延に供する際のスラブ温度、および保持時間

10

熱間圧延に供するスラブは、連続鑄造により得られたスラブや鑄造・分塊により得られたスラブなどを用いることができ、必要によってはそれらに熱間加工または冷間加工を加えたものを用いることができる。熱間圧延に供するスラブは、加熱時の700～850の温度域で900秒以上保持し、その後更に加熱し、1100以上の温度域で6000秒以上保持することが好ましい。なお、700～850の温度域での保持では、鋼板温度をこの温度域で変動させてもよく、一定としてもよい。また、1100以上の温度域での保持では、鋼板温度を1100以上の温度域で変動させてもよく、一定としてもよい。

【0078】

700～850のオーステナイト変態において、Mnがフェライトとオーステナイト間で分配し、その変態時間を長くすることによって、Mnがフェライト領域内を拡散することができる。これにより、スラブに偏在するMnマイクロ偏析を解消し、Mn濃度の標準偏差を著しく減ずることができる。Mn濃度の標準偏差を減少させることで、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との直線性を高めることができる。

20

また、Mn濃度の標準偏差を低減するためには、1100以上の温度域での保持時間は6000秒以上とすることが好ましい。所望量のマルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトをj得るためには、6000秒以上保持する温度は1100以上とすることが好ましい。

【0079】

熱間圧延は、多パス圧延としてレバースミルまたはタンデムミルを用いることが好ましい。特に工業的生産性の観点から、少なくとも最終の数段はタンデムミルを用いた熱間圧延とすることがより好ましい。

30

【0080】

(7-2) 熱間圧延の圧下率：850～1100の温度域で合計90％以上の板厚減  
850～1100の温度域で合計90％以上の板厚減となるような熱間圧延を行うことにより、主に再結晶オーステナイト粒の微細化が図られるとともに、未再結晶オーステナイト粒内へのひずみエネルギーの蓄積が促進され、オーステナイトの再結晶が促進されるとともにMnの原子拡散が促進され、Mn濃度の標準偏差を小さくすることができる。したがって、850～1100の温度域で合計90％以上の板厚減となるような熱間圧延を行う。

40

なお、850～1100の温度域の板厚減とは、この温度域の圧延における最初のパス前の入口板厚 $t_0$ とし、この温度域の圧延における最終パス後の出口板厚を $t_1$ としたとき、 $(t_0 - t_1) / t_0 \times 100$ （％）で表すことができる。

【0081】

(7-3) 熱間圧延の最終段から1段前の圧延後、且つ最終段の圧延前の応力：170kPa以上

熱間圧延の最終段から1段前の圧延後、且つ最終段の圧延前の鋼板に負荷する応力を170kPa以上とすることが好ましい。これにより、最終段から1段前の圧延後の再結晶オーステナイトのうち、 $\{110\} \langle 001 \rangle$ の結晶方位を有する結晶粒の数を低減することができる。 $\{110\} \langle 001 \rangle$ は再結晶し難い結晶方位であるため、この結晶方位

50

の形成を抑制することで最終段の圧下による再結晶を効果的に促進することができる。結果として、熱延鋼板のバンド状組織が改善され、金属組織の周期性が低減し、E値が上昇する。鋼板に負荷する応力が170kPa未満の場合、11.0以上のE値を達成することができない場合がある。鋼板に負荷する応力は、より好ましくは190kPa以上である。鋼板に負荷する応力は、タンデム圧延中のロール回転速度の調整により制御可能である。

#### 【0082】

(7-4) 熱間圧延の最終段における圧下率：8%以上、熱間圧延完了温度 $T_f$ ：900以上、960未満

熱間圧延の最終段における圧下率は8%以上とし、熱間圧延完了温度 $T_f$ は900以上とすることが好ましい。熱間圧延の最終段における圧下率を8%以上とすることで、最終段の圧下による再結晶を促進することができる。結果として熱延鋼板のバンド状組織が改善され、金属組織の周期性が低減し、E値が上昇する。熱間圧延完了温度 $T_f$ を900以上とすることで、オーステナイト中のフェライト核生成サイト数の過剰な増大を抑制することができる。その結果、最終組織（製造後の熱延鋼板の金属組織）におけるフェライトの生成を抑えられ、高強度の熱延鋼板を得ることができる。また、 $T_f$ を960未満とすることで、オーステナイト粒径の粗大化を抑制でき、金属組織の周期性を低減してE値を11.0以上とすることができる。

10

#### 【0083】

(7-5) 熱間圧延の最終段の圧延後、且つ鋼板が800に冷却されるまでの応力：200kPa未満

熱間圧延の最終段の圧延後、且つ鋼板が800に冷却されるまでの鋼板に負荷する応力は200kPa未満とすることが好ましい。鋼板に負荷する応力を200kPa未満とすることで、オーステナイトの再結晶が圧延方向に優先的に進み、金属組織の周期性の増大を抑制できる。その結果、E値を11.0以上とすることができる。鋼板に負荷する応力は、より好ましくは180MPa以下である。

20

#### 【0084】

(7-6) 熱間圧延完了温度 $T_f - 50$ 以下の温度域まで冷却した後、50/秒以上の平均冷却速度で、 $T_1$ ( )まで冷却

熱間圧延完了後、且つ熱間圧延完了温度 $T_f - 50$ 以下の温度域まで冷却した後、50/秒以上の平均冷却速度で $T_1$ ( )以下まで加速冷却を行うことで、フェライト、ベイナイトおよびパーライトの生成を抑制できる。これにより、熱延鋼板の強度が向上する。なお、ここでいう平均冷却速度とは、加速冷却開始時（冷却設備への鋼板の導入時）から $T_1$ ( )までの鋼板の温度降下幅を、加速冷却開始時から鋼板温度が $T_1$ ( )に達する時までの所要時間で除した値のことをいう。熱間圧延完了温度 $T_f - 50$ 以下の温度域まで冷却した後、 $T_1$ ( )までの平均冷却速度を50/秒以上とすることで、鋼板内部でのフェライト変態、ベイナイト変態および/またはパーライト変態を抑制でき、 $T_S - 980$ MPaを得ることができる。熱間圧延完了後、 $T_1$ ( )まで加速冷却する間に空冷等を行うと、50/秒以上の平均冷却速度を実現することができなくなり、上記効果が得られない。

30

平均冷却速度の上限値は特に規定しないが、冷却速度を速くすると冷却設備が大掛かりとなり、設備コストが高くなる。このため、設備コストを考えると、加速冷却の平均冷却速度は300/秒以下が好ましい。

40

#### 【0085】

熱間圧延完了後の冷却では、熱間圧延完了後1.0秒以内に、熱間圧延完了温度 $T_f - 50$ の温度域まで冷却することがより好ましい。すなわち、熱間圧延完了後1秒間の冷却量を50以上とすることがより好ましい。熱間圧延により細粒化したオーステナイト結晶粒の成長を抑制できるためである。熱間圧延完了後1.0秒以内に、熱間圧延完了温度 $T_f - 50$ 以下の温度域まで冷却するためには、熱間圧延完了直後に平均冷却速度の大きい冷却を行う、例えば冷却水を鋼板表面に噴射すればよい。熱間圧延完了後1.0秒

50

以内に  $T_f - 50$  以下の温度域まで冷却することにより、表層の結晶粒径を微細化でき、熱延鋼板の耐曲げ内割れ性を高めることができる。

熱間圧延完了後 1.0 秒以内に、熱間圧延完了温度  $T_f - 50$  の温度域まで冷却した後は、上述のように、 $T_1$  ( ) 以下までの平均冷却速度を  $50$  / 秒以上とするように加速冷却を行えばよい。

【0086】

(7-7)  $T_1$  ( ) から巻取り温度までの平均冷却速度が  $50$  / 秒以上

フェライト、ベイナイトおよびパーライトの面積分率を抑え、 $T_S = 980$  MPa の強度を得るために、 $T_1$  ( ) から巻取り温度までの平均冷却速度を  $50$  / 秒以上とすることが好ましい。これにより、母相組織を硬質にすることができる。なお、ここでいう平均冷却速度とは、 $T_1$  ( ) から巻取り温度までの鋼板の温度降下幅を、鋼板温度が  $T_1$  ( ) に達した時から巻取りまでの所要時間で除した値のことをいう。上記平均冷却速度を  $50$  / 秒以上とすることで、フェライト、ベイナイトおよびパーライトの面積分率を抑制し、強度およびせん断加工性を確保することができる。したがって、 $T_1$  ( ) から巻取り温度までの平均冷却速度は  $50$  / 秒以上とする。

10

【0087】

(7-8) 巻取り温度：350 以下

巻取り温度は 350 以下とすることが好ましい。巻取り温度を 350 以下とすることで、オーステナイトから bcc への変態駆動力を大きくすることができ、また、オーステナイトの変形強度を大きくすることができる。そのため、オーステナイトからマルテンサイト変態する際に硬質相が均一に分布し、ばらつきを向上できる。その結果、I 値を低減することができ、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性を高めることができる。すなわち、優れたせん断加工性を得ることができる。また、残留オーステナイトの影響により穴広げ性が低下することも抑制できる。したがって、巻取り温度は 350 以下とすることが好ましい。

20

【実施例】

【0088】

次に、実施例により本発明の一態様の効果を更に具体的に説明するが、実施例での条件は、本発明の実施可能性およ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るものではない。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ものである。

30

【0089】

表 1 および表 2 に示す化学組成を有する鋼を溶製し、連続鋳造により厚みが 240 ~ 300 mm のスラブを製造した。得られたスラブを用いて、表 3 A ~ 表 4 B に示す製造条件により、表 5 A ~ 表 6 B に示す熱延鋼板を得た。なお、表 3 A の製造 No. 11 は、700 ~ 850 の温度域で保持した後、更に加熱して、1036 で 9366 秒保持することで熱延鋼板を製造した。

【0090】

得られた熱延鋼板に対し、上述の方法により、金属組織の面積分率、E 値、I 値、Mn 濃度の標準偏差および表層の平均結晶粒径を得た。得られた測定結果を表 5 A ~ 表 6 B に示す。

40

なお、残部組織はベイナイトおよびパーライトの 1 種または 2 種であった。

【0091】

熱延鋼板の特性の評価方法

(1) 引張強さおよび穴広げ率

引張強さは、JIS Z 2241 : 2011 に準拠して評価した。試験片は JIS Z 2241 : 2011 の 5 号試験片とした。引張試験片の採取位置は、板幅方向の端部から 1/4 部分とし、圧延方向に直角な方向を長手方向とした。

穴広げ率は、JIS Z 2241 : 2011 の 5 号試験片を用いて、JIS Z 2256 : 2010 に準拠して測定した。穴広げ試験片の採取位置は、熱延鋼板の板幅方向の

50

端部から 1 / 4 部分とした。

【 0 0 9 2 】

引張強さ  $T S = 980 \text{ MPa}$  を満たした場合、強度に優れるとして合格と判定した。一方、引張強さ  $T S < 980 \text{ MPa}$  であった場合、強度に劣るとして不合格と判定した。

穴広げ率 55% であった場合、穴広げ性に優れるとして合格と判定した。一方、穴広げ率  $< 55\%$  であった場合、穴広げ性に劣るとして不合格と判定した。

【 0 0 9 3 】

( 2 ) せん断加工性

熱延鋼板のせん断加工性は、打ち抜き試験により、破断面とせん断との境界における直線度を求めることで評価した。板幅中央位置に、穴直径 10 mm、クリアランス 15%、打ち抜き速度 3 m / s で 5 個の打ち抜き穴を作製した。次に、5 個の打ち抜き穴について、10 箇所の圧延方向に平行な端面 ( 1 個の打ち抜き穴につき 2 箇所の端面 ) の様子を光学顕微鏡観で撮影した。得られた観察写真では、図 1 ( a ) に示すような端面を観察することができる。図 1 ( a ) および ( b ) に示すように、打ち抜き後の端面では、ダレ、せん断面、破断面およびバリが観察される。なお、図 1 ( a ) は打ち抜き穴の圧延方向に平行な端面の概略図であり、図 1 ( b ) は、打ち抜き穴の側面の概略図である。ダレとは R 状の滑らかな面であり、せん断面とはせん断変形により分離した打ち抜き端面であり、破断面とはせん断変形終了後、刃先近傍から発生したき裂によって分離した打ち抜き端面であり、バリとは熱延鋼板の下面からはみ出した突起を有する面である。

【 0 0 9 4 】

5 個の端面から得られた 10 個の端面の観察写真において、後述の方法により破断面とせん断との境界における直線度を測定し、得られた直線度の最大値を算出した。得られた直線度の最大値が 1 . 0 4 5 未満であった場合、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性が高い、すなわちせん断加工性に優れた熱延鋼板であるとして、合格と判定した。一方、得られた直線度の最大値が 1 . 0 4 5 以上であった場合、せん断加工後の端面における破断面とせん断面との境界の直線性が低い、すなわちせん断加工性に劣る熱延鋼板であるとして、不合格と判定した。

【 0 0 9 5 】

破断面とせん断との境界における直線度は、以下の方法により得た。

図 1 ( b ) に示すように、せん断面と、破断面との境界の点 ( 図 1 ( b ) の点 A および点 B ) を、端面に対して決定した。これらの点 A および点 B を直線で結んだ距離  $x$  の長さを測定した。次に、破断面 - せん断面境界に沿った曲線の長さ  $y$  を測定した。得られた  $y$  を  $x$  で除することによって得られた値を、破断面とせん断との境界における直線度とした。

【 0 0 9 6 】

( 3 ) 耐曲げ内割れ性

曲げ試験片は、熱延鋼板の幅方向 1 / 2 位置から、100 mm × 30 mm の短冊形状の試験片を切り出し、以下の曲げ試験により耐曲げ内割れ性を評価した。

曲げ稜線が圧延方向 ( L 方向 ) に平行である曲げ ( L 軸曲げ ) と、曲げ稜線が圧延方向に垂直な方向 ( C 方向 ) に平行である曲げ ( C 軸曲げ ) の両者について、J I S Z 2 2 4 8 : 2 0 1 4 ( V ブロック 90° 曲げ試験 ) に準拠して耐曲げ内割れ性を調査し、亀裂の発生しない最小曲げ半径を求め、L 軸および C 軸の最小曲げ半径の平均値を板厚で除した値を限界曲げ  $R / t$  として曲げ性の指標値とした。  $R / t = 3 . 0$  であった場合、耐曲げ内割れ性に優れた熱延鋼板であると判断した。

ただし、亀裂の有無は、V ブロック 90° 曲げ試験後の試験片を曲げ方向と平行でかつ板面に垂直な面で切断した断面を鏡面研磨後、光学顕微鏡で亀裂を観察し、試験片の曲げ内側に観察される亀裂長さが 30  $\mu\text{m}$  を超える場合に亀裂有と判断した。

得られた測定結果を表 6 A および表 6 B に示す。

【 0 0 9 7 】

10

20

30

40

50

【表 1】

鋼No.	質量% 残部はFe及び不純物											備考
	C	Si	Mn	sol.Al	P	S	N	O	Ti	Nb	V	
A	0.048	1.16	1.69	0.033	0.021	0.0012	0.0039	0.0051				本発明例
B	0.073	0.99	2.16	0.031	0.011	0.0035	0.0037	0.0054				本発明例
C	0.068	1.28	1.75	0.067	0.015	0.0043	0.0013	0.0014				本発明例
D	0.073	0.38	1.81	0.038	0.022	0.0046	0.0052	0.0000				本発明例
E	0.065	2.76	1.86	0.037	0.029	0.0021	0.0004	0.0016				本発明例
F	0.056	0.97	1.23	0.053	0.010	0.0062	0.0036	0.0004	0.105			本発明例
G	0.071	1.21	3.88	0.030	0.031	0.0035	0.0029	0.0057		0.045		本発明例
H	0.063	0.79	1.90	0.042	0.025	0.0021	0.0031	0.0032				本発明例
I	0.078	1.11	1.74	0.038	0.013	0.0094	0.0016	0.0034			0.144	本発明例
J	0.062	1.09	1.72	0.030	0.016	0.0044	0.0039	0.0060	0.039	0.026	0.068	本発明例
K	0.071	0.83	1.72	0.044	0.017	0.0018	0.0046	0.0019				本発明例
L	0.072	0.83	1.80	0.052	0.029	0.0004	0.0019	0.0004				本発明例
M	0.075	1.12	1.65	0.043	0.025	0.0034	0.0011	0.0057			0.055	本発明例
N	0.057	1.09	1.46	0.043	0.018	0.0041	0.0039	0.0037	0.099			本発明例
O	0.074	1.07	1.70	0.050	0.012	0.0002	0.0023	0.0031		0.089		本発明例
P	<u>0.036</u>	0.97	2.01	0.027	0.007	0.0056	0.0063	0.0039	0.126			比較例
Q	<u>0.259</u>	0.88	1.78	0.058	0.011	0.0034	0.0045	0.0071				比較例
R	0.043	3.22	1.70	0.029	0.020	0.0052	0.0032	0.0036				比較例
S	0.046	<u>0.02</u>	1.81	0.063	0.016	0.0038	0.0092	0.0014				比較例
T	0.051	1.08	4.10	0.041	0.014	0.0029	0.0039	0.0058	0.041	0.013		比較例
U	0.071	1.14	2.11	0.321	0.013	0.0044	0.0022	0.0017				本発明例
V	0.066	0.88	3.38	0.035	0.019	0.0057	0.0049	0.0060				本発明例

下限は本発明の範囲外であることを示す。

【 0 0 9 8 】

10

20

30

40

50

【表 2】

鋼No.	質量% 残部はFe及び不純物													T1	備考		
	Cu	Cr	Mo	Ni	B	Ca	Mg	REM	Bi	Zr	Co	Zn	W			Sn	
A						0.0018	0.0014									605	本発明例
B																556	本発明例
C								0.0032								594	本発明例
D		0.28	0.18	0.37												539	本発明例
E									0.004				0.15			585	本発明例
F																644	本発明例
G																402	本発明例
H										0.02						582	本発明例
I																592	本発明例
J																599	本発明例
K	0.13										0.16					596	本発明例
L		0.24														572	本発明例
M			0.15												0.02	589	本発明例
N				0.22												615	本発明例
O					0.0026							0.02				597	本発明例
P																580	比較例
Q																540	比較例
R																606	比較例
S																595	比較例
T																387	比較例
U																561	本発明例
V																448	本発明例

【 0 0 9 9 】

10

20

30

40

50

【 表 3 A 】

製造 No.	鋼 No.	700~ 850°Cの 温度域での 保持時間		加熱温度 °C	1100°C以上の 温度域での 保持時間 s	850~ 1100°Cの 板厚減		最終段から 1段前の圧延後、 最終段の圧延前 の負荷応力 kPa	熱間圧延 完了温度 Tf °C	最終段の 圧下率 %	熱間圧延の最終段 の圧延後、鋼板が 800°Cに冷却される までの負荷応力 kPa	備考
		s	°C			%	kPa					
1	A	1162	1249	9303	92	205	920	175	本発明例			
2	B	1268	1250	9372	94	229	951	173	本発明例			
3	B	752	1252	9408	96	216	944	179	比較例			
4	B	1486	1238	9188	88	211	923	194	比較例			
5	B	1332	1217	4389	93	233	951	191	比較例			
6	B	1265	1229	9021	96	150	952	195	比較例			
7	B	1272	1225	9178	95	207	1037	173	比較例			
8	B	1314	1211	8766	95	191	924	184	比較例			
9	B	1570	1248	9416	95	227	931	261	比較例			
10	B	1501	1243	9498	94	212	943	170	本発明例			
11	B	1254	1036	9366	96	200	940	189	比較例			
12	B	1379	1234	8951	95	225	930	177	比較例			
13	B	1491	1230	9428	93	215	929	178	比較例			
14	B	1255	1227	9069	94	210	926	177	比較例			
15	C	1137	1222	9421	95	232	924	184	本発明例			
16	D	1399	1226	9027	93	218	947	177	本発明例			
17	E	1257	1248	8890	95	216	901	190	本発明例			
18	E	1443	1230	9049	95	199	910	190	比較例			
19	F	1457	1219	9267	93	203	944	193	本発明例			
20	G	1394	1244	9090	93	196	956	182	本発明例			
21	H	1213	1253	9130	95	174	957	186	本発明例			
22	I	1140	1238	9052	93	214	927	189	本発明例			
23	J	1251	1216	9102	95	218	955	194	本発明例			

下線は製造条件が好ましくないことを示す。

【 0 1 0 0 】

10

20

30

40

50

【 表 3 B 】

製造 No.	鋼 No.	700~850°Cの温度域での保持時間		加熱温度 °C	1100°C以上の温度域での保持時間		850~1100°Cの板厚減 %	最終段から1段前の圧延後、最終段の圧延前の負荷応力		熱間圧延完了温度 Tf °C	最終段の圧下率 %	熱間圧延の最終段の圧延後、鋼板が800°Cに冷却されるまでの負荷応力		備考
		s	°C		s	°C		kPa	%			kPa	%	
24	K	1368	1262	9075	94	218	932	9	185	本発明例				
25	L	1552	1261	9145	96	233	934	9	187	本発明例				
26	M	1520	1221	9014	94	223	910	9	179	本発明例				
27	N	1547	1237	9070	95	225	947	9	193	本発明例				
28	O	1277	1252	8991	96	208	927	11	185	本発明例				
29	P	1526	1257	9414	94	212	915	8	186	比較例				
30	Q	1274	1264	9359	95	206	936	10	177	比較例				
31	R	1174	1259	9143	93	229	920	8	187	比較例				
32	S	1314	1247	9542	96	240	936	10	172	比較例				
33	T	1177	1255	9049	95	211	920	11	174	比較例				
34	U	1210	1187	8695	94	228	911	9	192	本発明例				
35	V	1367	1235	9310	93	214	932	10	188	本発明例				
36	B	830	1241	8332	93	219	938	10	196	比較例				
37	B	1200	1237	5608	93	208	944	8	195	比較例				
38	B	1221	1232	8237	94	161	954	9	178	比較例				
39	B	1222	1224	8108	93	203	958	6	182	比較例				
40	B	1334	1226	8154	95	198	957	9	210	比較例				
41	B	1351	1231	9176	94	201	959	9	186	比較例				
42	B	1382	1195	8276	93	207	934	8	187	本発明例				
43	R	1403	1198	9199	92	211	957	9	188	比較例				
44	B	921	1229	6120	94	218	930	9	171	本発明例				
45	B	1338	1233	9332	95	215	931	8	186	本発明例				

下線は製造条件が好ましくないことを示す。

【 0 1 0 1 】

10

20

30

40

50

【表 4 A】

製造 No.	鋼 No.	熱間圧延 完了後 1秒間の 冷却量 °C	熱間圧延完了 温度Tf-50°C ~T1までの 平均冷却速度 °C/s	T1 °C	空冷開始 温度 °C	空冷時間 s	T1から巻取り 温度までの 平均冷却速度 °C/s	巻取り 温度 °C	備考
2	B	73	120	556		0	134	40	本発明例
3	B	70	111	556		0	130	38	比較例
4	B	60	97	556		0	147	32	比較例
5	B	63	114	556		0	92	36	比較例
6	B	74	111	556		0	103	29	比較例
7	B	66	120	556		0	102	41	比較例
8	B	57	62	556		0	82	50	比較例
9	B	78	125	556		0	100	30	比較例
10	B	42	104	556		0	94	36	本発明例
11	B	62	82	556		0	142	42	比較例
12	B	65	36	556		0	121	46	比較例
13	B	79	31	556	639	3.0	156	35	比較例
14	B	79	116	556		0	25	27	比較例
15	C	34	92	594		0	130	30	本発明例
16	D	62	91	539		0	146	43	本発明例
17	E	70	93	585		0	102	60	本発明例
18	E	62	108	585		0	56	370	比較例
19	F	59	100	644		0	135	80	本発明例
20	G	68	88	402		0	99	29	本発明例
21	H	73	116	582		0	124	34	本発明例
22	I	75	120	592		0	126	62	本発明例
23	J	62	104	599		0	95	40	本発明例

下線は製造条件が好ましくないことを示す。

【 0 1 0 2 】

10

20

30

40

50

【表 4 B】

製造 No.	鋼 No.	熱間圧延完了後1秒間の冷却量		熱間圧延完了温度Tf-50℃~T1までの平均冷却速度		T1	空冷開始温度	空冷時間	T1から巻取り温度までの平均冷却速度		巻取り温度	備考
		°C	°C	°C/s	°C/s				°C/s	°C		
24	K	61	128	596	0	137	33	本発明例				
25	L	35	112	572	0	152	48	本発明例				
26	M	65	102	589	0	83	37	本発明例				
27	N	69	102	615	0	128	29	本発明例				
28	O	71	117	597	0	84	37	本発明例				
29	P	76	125	580	0	91	31	比較例				
30	Q	80	115	540	0	82	28	比較例				
31	R	67	113	606	0	133	31	比較例				
32	S	59	109	595	0	152	43	比較例				
33	T	73	107	387	0	111	48	比較例				
34	U	82	108	561	0	132	52	本発明例				
35	V	57	117	448	0	98	45	本発明例				
36	B	69	104	556	0	130	36	比較例				
37	B	68	99	556	0	123	36	比較例				
38	B	68	82	556	0	121	35	比較例				
39	B	67	111	556	0	115	35	比較例				
40	B	64	101	556	0	105	38	比較例				
41	B	55	45	556	0	96	37	比較例				
42	B	58	109	556	0	104	210	本発明例				
43	R	61	111	606	0	108	360	比較例				
44	B	65	76	556	0	123	36	本発明例				
45	B	63	74	556	0	53	42	本発明例				

下線は製造条件が好ましくないことを示す。

【 0 1 0 3 】

【 表 5 A 】

製造 No.	鋼 No.	板厚 mm	フェライト		残留 オーステナイト	マルテンサイトおよび 焼き戻しマルテンサイト		残留組織 面積%	E値	I値	Mn標準 偏差	表層の平均 結晶粒径		備考
			面積%	面積%		面積%	面積%					質量%	μm	
1	A	2.6	3.3	0.0	95.3	1.4	12.1	1.015	0.48	2.7	本発明例			
2	B	2.6	1.0	0.0	98.2	0.8	13.1	1.013	0.42	2.6	本発明例			
3	B	2.6	3.2	0.0	95.0	1.8	11.0	1.008	0.62	2.0	比較例			
4	B	2.6	4.0	0.0	93.5	2.5	11.8	1.008	0.63	2.4	比較例			
5	B	2.6	2.1	0.0	93.0	4.9	12.0	1.015	0.70	2.2	比較例			
6	B	2.6	7.2	0.0	92.4	0.4	10.7	1.030	0.46	2.0	比較例			
7	B	2.6	9.8	0.0	89.0	1.2	10.8	1.048	0.49	2.6	比較例			
8	B	2.6	8.6	0.0	90.5	0.9	10.6	1.042	0.50	2.6	比較例			
9	B	2.6	5.3	0.0	94.0	0.7	10.8	1.028	0.44	2.2	比較例			
10	B	2.6	4.1	0.0	94.8	1.1	11.5	1.007	0.43	3.3	本発明例			
11	B	2.6	10.1	0.0	88.6	1.3	12.1	1.015	0.48	2.5	比較例			
12	B	2.6	6.4	0.0	92.0	1.6	12.9	1.019	0.50	2.3	比較例			
13	B	2.6	10.0	0.0	88.8	1.2	11.6	1.056	0.41	2.6	比較例			
14	B	2.6	6.9	0.0	92.5	0.6	11.9	1.037	0.47	2.3	比較例			
15	C	6.0	4.8	0.0	93.7	1.5	12.9	1.001	0.49	3.2	本発明例			
16	D	2.6	0.5	0.0	99.1	0.4	11.8	1.005	0.48	2.4	本発明例			
17	E	2.6	4.5	1.5	92.6	1.4	11.1	1.015	0.42	2.0	本発明例			
18	E	2.6	4.2	5.1	89.0	1.7	11.2	1.047	0.43	2.3	比較例			
19	F	1.6	4.3	0.0	93.6	2.1	11.1	1.013	0.49	2.5	本発明例			
20	G	2.6	3.6	0.0	96.2	0.2	11.3	1.003	0.57	2.3	本発明例			
21	H	2.6	2.2	0.0	97.2	0.6	11.8	1.001	0.43	2.2	本発明例			
22	I	2.6	1.2	0.0	98.7	0.1	13.1	1.006	0.43	2.1	本発明例			
23	J	2.6	2.4	0.0	97.5	0.1	11.2	1.011	0.43	2.1	本発明例			

下線は本発明の範囲外、または好ましくない特性であることを示す。

【 0 1 0 4 】

10

20

30

40

50

【 表 5 B 】

製造 No.	鋼 No.	板厚		フェライト		残留 オーステナイト		マルテンサイトおよび 焼き戻しマルテンサイト		残留組織		E 値	I 値	Mn標準 偏差		表層の平均 結晶粒径		備考
		mm	面積%	面積%	面積%	面積%	面積%	面積%	質量%	μm								
24	K	2.6	2.6	2.6	0.0	0.0	96.8	0.6	11.2	1.013	0.49	2.5	本発明例					
25	L	2.6	4.2	4.2	0.0	0.0	95.1	0.7	11.9	1.010	0.51	4.0	本発明例					
26	M	2.6	3.5	3.5	0.0	0.0	96.3	0.2	11.2	1.005	0.43	2.5	本発明例					
27	N	2.6	4.2	4.2	0.0	0.0	95.7	0.1	11.0	1.011	0.51	1.8	本発明例					
28	O	2.6	2.9	2.9	0.0	0.0	95.5	1.6	11.3	1.011	0.46	2.2	本発明例					
29	P	2.6	5.7	5.7	0.0	0.0	93.1	1.2	12.5	1.023	0.39	2.3	比較例					
30	Q	2.6	6.8	6.8	1.3	1.3	90.4	1.5	10.8	1.010	0.43	2.0	比較例					
31	R	2.6	9.2	9.2	2.4	2.4	87.3	1.1	10.1	1.018	0.40	3.2	比較例					
32	S	2.6	5.6	5.6	0.0	0.0	90.8	3.6	11.1	1.033	0.51	2.1	比較例					
33	T	2.6	4.1	4.1	0.0	0.0	93.1	2.8	11.0	1.012	0.62	2.3	比較例					
34	U	2.6	2.7	2.7	0.0	0.0	95.0	2.3	12.0	1.012	0.58	2.5	本発明例					
35	V	2.6	3.5	3.5	0.0	0.0	94.4	2.1	11.7	1.015	0.56	2.6	本発明例					
36	B	2.6	3.3	3.3	0.0	0.0	92.6	4.2	11.3	1.010	0.71	2.6	比較例					
37	B	2.6	1.3	1.3	0.0	0.0	93.7	5.0	11.2	1.006	0.65	2.6	比較例					
38	B	2.6	1.6	1.6	0.0	0.0	92.8	5.6	10.9	1.003	0.47	2.6	比較例					
39	B	2.6	3.0	3.0	0.0	0.0	92.1	4.9	10.8	1.002	0.47	2.6	比較例					
40	B	2.6	2.6	2.6	0.0	0.0	93.4	4.0	11.2	1.024	0.25	2.6	比較例					
41	B	2.6	1.9	1.9	0.0	0.0	88.0	10.1	11.6	1.023	0.38	2.5	比較例					
42	B	2.6	3.2	3.2	0.0	0.0	96.3	0.5	12.0	1.016	0.27	2.4	本発明例					
43	R	2.6	1.1	1.1	8.2	8.2	90.1	0.6	12.3	1.012	0.33	2.2	比較例					
44	B	2.6	3.4	3.4	0.0	0.0	93.2	3.4	11.8	1.019	0.56	2.2	本発明例					
45	B	2.6	3.8	3.8	0.0	0.0	95.3	0.9	11.6	1.013	0.41	2.3	本発明例					

下線は本発明の範囲外、または好ましくない特性であることを示す。

【 0 1 0 5 】

10

20

30

40

50

【表 6 A】

製造 No.	鋼 No.	引張 強さTS	穴広げ 率λ	端面における破断面と せん断面との 境界の直線性	限界曲げ R/t	備考
		MPa	%	-	-	
1	A	986	70	1.040	2.6	本発明例
2	B	1126	79	1.036	3.0	本発明例
<u>3</u>	B	1017	68	<u>1.055</u>	2.7	比較例
<u>4</u>	B	1031	64	<u>1.062</u>	2.6	比較例
<u>5</u>	B	1012	62	<u>1.048</u>	2.8	比較例
<u>6</u>	B	1037	58	<u>1.053</u>	2.6	比較例
<u>7</u>	B	<u>975</u>	<u>52</u>	<u>1.061</u>	3.0	比較例
<u>8</u>	B	<u>979</u>	<u>51</u>	<u>1.066</u>	2.8	比較例
<u>9</u>	B	1028	61	<u>1.046</u>	2.6	比較例
10	B	990	62	1.033	3.1	本発明例
<u>11</u>	B	<u>948</u>	<u>41</u>	1.038	2.6	比較例
<u>12</u>	B	<u>958</u>	56	1.034	2.7	比較例
<u>13</u>	B	<u>930</u>	<u>42</u>	<u>1.067</u>	2.7	比較例
<u>14</u>	B	<u>972</u>	58	<u>1.055</u>	2.7	比較例
15	C	1229	61	1.022	3.2	本発明例
16	D	1263	82	1.010	2.8	本発明例
17	E	1057	57	1.030	2.7	本発明例
<u>18</u>	E	<u>964</u>	<u>53</u>	<u>1.051</u>	2.6	比較例
19	F	990	62	1.030	2.7	本発明例
20	G	1082	69	1.038	2.8	本発明例
21	H	983	71	1.036	2.5	本発明例
22	I	1232	79	1.022	2.8	本発明例
23	J	999	72	1.035	3.0	本発明例

下線は本発明の範囲外、または好ましくない特性であることを示す。

【 0 1 0 6 】

10

20

30

40

50

【表 6 B】

製造 No.	鋼 No.	引張 強さTS	穴広げ 率λ	端面における破断面と せん断面との 境界の直線性	限界曲げ R/t	備考
		MPa	%	—	—	
24	K	1012	66	1.040	2.8	本発明例
25	L	1041	62	1.030	3.6	本発明例
26	M	1037	67	1.035	3.0	本発明例
27	N	983	63	1.036	2.6	本発明例
28	O	1028	61	1.036	2.7	本発明例
<u>29</u>	<u>P</u>	<u>922</u>	59	<u>1.066</u>	2.6	比較例
<u>30</u>	<u>Q</u>	<u>958</u>	<u>51</u>	1.031	3.3	比較例
<u>31</u>	<u>R</u>	<u>951</u>	<u>48</u>	1.025	3.8	比較例
<u>32</u>	<u>S</u>	<u>955</u>	58	<u>1.071</u>	2.7	比較例
<u>33</u>	<u>T</u>	985	61	<u>1.066</u>	2.6	比較例
34	U	1034	64	1.035	2.7	本発明例
35	V	1168	62	1.010	2.6	本発明例
<u>36</u>	B	1014	65	<u>1.056</u>	2.7	比較例
<u>37</u>	B	1007	62	<u>1.058</u>	2.8	比較例
<u>38</u>	B	1006	60	<u>1.065</u>	2.9	比較例
<u>39</u>	B	1002	57	<u>1.058</u>	2.7	比較例
<u>40</u>	B	<u>960</u>	57	1.015	2.8	比較例
<u>41</u>	B	<u>961</u>	63	1.030	2.9	比較例
42	B	995	69	1.030	2.8	本発明例
<u>43</u>	R	990	<u>41</u>	<u>1.051</u>	2.7	比較例
44	B	1070	61	1.044	2.8	本発明例
45	B	992	68	1.037	2.7	本発明例

下線は本発明の範囲外、または好ましくない特性であることを示す。

## 【0107】

表 6 A および表 6 B から分かるように、本発明例において、優れた強度、穴広げ性およびせん断加工性を有する熱延鋼板が得られた。更に、表層の平均粒径が 3.0 μm 未満である本発明例において、上記諸特性を有した上で更に、耐曲げ内割れ性に優れた熱延鋼板が得られた。

一方、化学組成、金属組織が本発明で規定する範囲内でない比較例は、特性（引張強さ TS、穴広げ性、せん断加工性）のうちいずれか一つ以上が劣った。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0108】

本発明に係る上記態様によれば、優れた強度、穴広げ性およびせん断加工性を有する熱延鋼板を提供することができる。また、本発明に係る上記の好ましい態様によれば、上記諸特性を有した上で更に、曲げ内割れの発生が抑制された、すなわち耐曲げ内割れ性に優れた熱延鋼板を得ることができる。

本発明に係る熱延鋼板は、自動車部材、機械構造部材さらには建築部材に用いられる工業用素材として好適である。

10

20

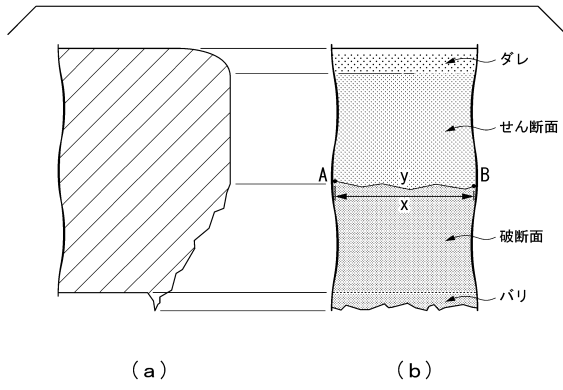
30

40

50

【図面】

【図 1】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- (74)代理人 100207686  
弁理士 飯田 恭宏
- (74)代理人 100224812  
弁理士 井口 翔太
- (72)発明者 筒井 和政  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内
- (72)発明者 首藤 洋志  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内
- (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 日本製鉄株式会社内
- (72)発明者 吉田 充  
東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内
- 審査官 鈴木 毅
- (56)参考文献 特開2017-150051(JP,A)  
特開2015-160984(JP,A)  
特開2007-070661(JP,A)  
国際公開第2021/065346(WO,A1)  
国際公開第2022/044494(WO,A1)
- (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