

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年7月4日(04.07.2024)



(10) 国際公開番号

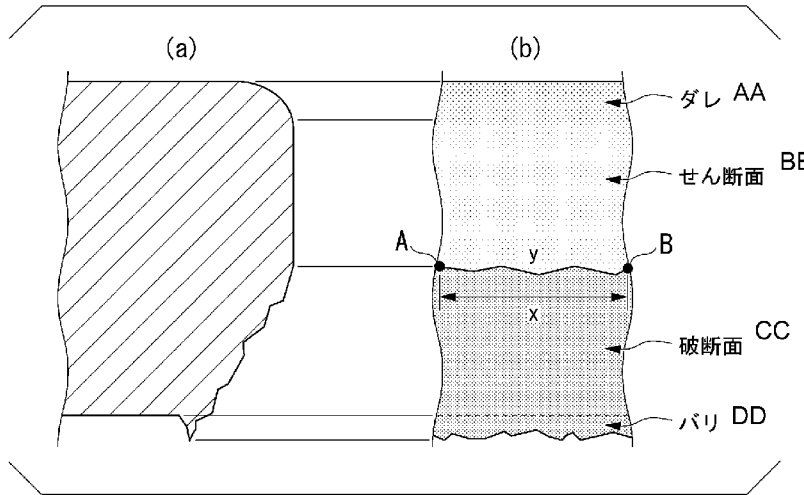
WO 2024/142492 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) C21D 9/46 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01) C22C 38/58 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/031972
- (22) 国際出願日: 2023年8月31日(31.08.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2022-208520 2022年12月26日(26.12.2022) JP
- (71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 筒井 和政 (TSUTSUI Kazumasa); 〒1008071 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 Tokyo (JP).
首藤 洋志 (SHUTO Hiroshi); 〒1008071 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 松沼 泰史, 外 (MATSUNUMA Yasushi et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) Title: HOT-ROLLED STEEL SHEET

(54) 発明の名称: 熱延鋼板

【図1】



AA Undercut
BB Shear plane
CC Fracture surface
DD Burr

(57) Abstract: This hot-rolled steel sheet has a specific chemical composition. The metal structure of the hot-rolled steel sheet in a location at a depth of 1/4 from the surface in the sheet thickness direction includes, in area%, a total of more than 92.0% and no more than 100.0% of martensite and tempered martensite, less than 3.0% of residual austenite, and less than 5.0% of ferrite while having an E value of 11.0 or more, an I value of less than 1.020, a CS value of -8.0×10^5 to 8.0×10^5 inclusive, and a standard deviation of 0.60 mass% or less in Mn



HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

concentration. In the surface, the number density of Si-Al-Cr oxides having an equivalent circle diameter of 0.500 μm or more is 2.0×10^3 oxides per cm^2 or less, and the number density of Si-Al-Cr oxides having an equivalent circle diameter of 0.005-0.050 μm is 1.0×10^5 oxides per cm^2 or more.

(57) 要約: この熱延銅板は、所定の化学組成を有し、板厚方向の表面から1/4位置における金属組織が、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、E値が11.0以上であり、I値が1.020未満であり、CS値が -8.0×10^{-5} ~ 8.0×10^{-5} であり、Mn濃度の標準偏差が0.60質量%以下であり、前記表面において、円相当半径が0.500 μm 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度が 2.0×10^3 個/ cm^2 以下であり、円相当半径が0.005~0.050 μm であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度が 1.0×10^5 個/ cm^2 以上である。

明 細 書

発明の名称：熱延鋼板

技術分野

[0001] 本発明は、熱延鋼板に関する。

本願は、2022年12月26日に、日本に出願された特願2022-208520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] 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、限界破断板厚減少率および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。

[0004] 限界破断板厚減少率とは、破断前の引張試験片の板厚と、破断後の引張試験片の板厚の最小値とから求められる値である。限界破断板厚減少率が高い方が、プレス成形中の引張ひずみが付与された際に早期に破断し難くなるため、好ましい。

[0005] 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。せん断加工によって製造されるブランク板では、せん断加工後の端面精度に優れる必要がある。

[0006] 例えば、せん断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と

、せん断端面の精度が著しく劣化する。

[0007] 更に、自動車部材に適用される鋼板には、より優れた耐食性が求められる。

[0008] 例えば、特許文献1には、板厚中央部におけるMn偏析度およびP偏析度を制御した、プレス加工後の表面性状に優れた冷延鋼板の素材となる熱延鋼板が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：国際公開第2020/044445号

非特許文献

[0010] 非特許文献1：J. Webel, J. Gola, D. Britz, F. Mucklich, Materials Characterization 144 (2018) 584–596

非特許文献2：D. L. Naik, H. U. Sajid, R. Kiran, Metals 2019, 9, 546

非特許文献3：K. Zuiderveld, Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, Chapter VIII. 5, Graphics Gems I V. 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

[0011] しかしながら、特許文献1では、熱延鋼板の限界破断板厚減少率、せん断加工性および耐食性について考慮されていない。

[0012] 本発明は、上述の実情に鑑みてなされたものであり、高い強度および限界破断板厚減少率、並びに、優れた穴広げ性、せん断加工性および耐食性を有

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

[0013] 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%、

Si : 0.40~1.00%、

Mn : 1.00~4.00%、

sol. Al : 0.100~0.500%、

Cr : 0.50~2.00%、

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 : 0~0.100%、

V : 0~0.500%、

Cu : 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 : 0~0.0200%、

As : 0~0.100%、

Zr : 0~1.00%、

Co : 0~1.00%、

Zn : 0~1.00%、

W : 0 ~ 1.00%, および

Sn : 0 ~ 0.05% を含有し、

残部が Fe および不純物からなり、

下記式 (A) を満たし、

板厚方向の表面から 1 / 4 位置における金属組織が、

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、

グレーレベル共起行列法により、前記金属組織の SEM 画像を解析することによって得られる、下記式 (1) で示される Entropy 値が 11.0 以上であり、

下記式 (2) で示される Inverse difference normalized 値が 1.020 未満であり、

下記式 (3) で示される Cluster Shade 値が $-8.0 \times 10^5 \sim 8.0 \times 10^5$ であり、

Mn 濃度の標準偏差が 0.60 質量% 以下であり、

前記表面において、円相当半径が $0.500 \mu\text{m}$ 以上である Si-Al-Cr 酸化物の個数密度が 2.0×10^3 個 / cm^2 以下であり、円相当半径が $0.005 \sim 0.050 \mu\text{m}$ である Si-Al-Cr 酸化物の個数密度が 1.0×10^5 個 / cm^2 以上である。

$$Zr + Co + Zn + W \leq 1.00 \quad \dots (A)$$

ただし、前記式 (A) 中の各元素記号は、当該元素の質量%での含有量を示し、当該元素を含有しない場合は 0 を代入する。

ここで、下記式 (1) ~ (5) 中の $P(i, j)$ はグレーレベル共起行列であり、下記式 (2) 中の L は前記 SEM 画像の取り得るグレースケールのレベル数であり、下記式 (2) および (3) 中の i および j は 1 ~ 前記 L の

自然数であり、下記式（３）中の μ_x および μ_y はそれぞれ下記式（４）および（５）で示される。

[数1]

$$Entropy = -\sum_i \sum_j P(i, j) \cdot \log(P(i, j)) \quad \dots (1)$$

[数2]

$$Inverse \ difference \ normalized = \sum_i \sum_j \frac{P(i, j)}{1 + \frac{|i - j|}{L}} \quad \dots (2)$$

[数3]

$$Cluster \ Shade = \sum_i \sum_j (i + j - \mu_x - \mu_y)^3 P(i, j) \quad \dots (3)$$

[数4]

$$\mu_x = \sum_i \sum_j i(P(i, j)) \quad \dots (4)$$

[数5]

$$\mu_y = \sum_i \sum_j j(P(i, j)) \quad \dots (5)$$

（２）上記（１）に記載の熱延鋼板は、前記化学組成が、質量％で、
 Ti : 0.001～0.300％、
 Nb : 0.001～0.100％、
 V : 0.001～0.500％、
 Cu : 0.01～2.00％、
 Mo : 0.01～1.00％、
 Ni : 0.02～2.00％、
 B : 0.0001～0.0100％、
 Ca : 0.0005～0.0200％、
 Mg : 0.0005～0.0200％、

REM : 0.0005 ~ 0.1000 %、

Bi : 0.0005 ~ 0.0200 %、

As : 0.001 ~ 0.100 %、

Zr : 0.01 ~ 1.00 %、

Co : 0.01 ~ 1.00 %、

Zn : 0.01 ~ 1.00 %、

W : 0.01 ~ 1.00 %、および

Sn : 0.01 ~ 0.05 %

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

[0014] 本発明に係る上記態様によれば、高い強度および限界破断板厚減少率、並びに、優れた穴広げ性、せん断加工性および耐食性を有する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

[0015] [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

[0016] 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。

[0017] 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、化学組成に関する%は特に指定しない限り質量%である。

[0018] 化学組成

本実施形態に係る熱延鋼板の化学組成は、質量%で、C : 0.040~0.250%、Si : 0.40~1.00%、Mn : 1.00~4.00%、sol. Al : 0.100~0.500%、Cr : 0.50~2.00%、P : 0.100%以下、S : 0.0300%以下、N : 0.1000%以下、O : 0.0100%以下、並びに、残部 : Fe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。

[0019] C : 0.040~0.250%

Cは、硬質相の面積率を上昇させる。C含有量が0.040%未満では、熱延鋼板においてフェライトおよび残部組織の面積率が増加することで、所望の強度および穴広げ性を得ることができない。したがって、C含有量は0.040%以上とする。C含有量は、好ましくは0.045%以上であり、より好ましくは0.050%以上である。

一方、C含有量が0.250%超では、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によりE値が低下する。したがって、C含有量は0.250%以下とする。C含有量は、好ましくは0.200%以下、0.150%以下である。

[0020] Si : 0.40~1.00%

Siは、フェライトの生成を促進して熱延鋼板の穴広げ性を向上させる作用と、フェライトを固溶強化して熱延鋼板の強度を上昇させる作用とを有する。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0.40%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、Si含有量は0.40%以上とする。Si含有量は、好ましくは0.50%以上であり、より好ましくは0.60%以上である。

しかし、Si含有量が1.00%超では、鋼板表面の酸化物の個数密度が増加して化成処理性が劣化する。また、フェライトが過剰に生成し易くなり、強度が低下する。したがって、Si含有量は1.00%以下とする。Si含有量は、好ましくは0.90%以下であり、より好ましくは0.80%以

下である。

[0021] Mn : 1.00~4.00%

Mnは、フェライト変態を抑制して熱延鋼板の強度を高める作用を有する。Mn含有量が1.00%未満では、熱延鋼板において所望の強度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1.10%以上であり、より好ましくは1.20%以上である。

一方、Mn含有量が4.00%超では、Mn濃度の標準偏差を低減することができない。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3.50%以下、3.00%以下であり、より好ましくは2.50%以下、2.00%以下である。

[0022] sol. Al : 0.100~0.500%

Alは、Siと同様に、鋼を脱酸して鋼を健全化する作用を有するとともに、フェライトの生成を促進し、熱延鋼板の穴広げ性を高める作用を有する。sol. Al含有量が0.100%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、0.100%以上とする。sol. Al含有量は、好ましくは0.200%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。そのため、sol. Al含有量は0.500%以下とする。sol. Al含有量は、好ましくは0.450%以下、より好ましくは0.400%以下、より一層好ましくは0.350%以下である。

なお、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。

[0023] Cr : 0.50~2.00%

Crは、熱延鋼板の焼入性を高める作用を有する。また、Crは、SiおよびAlと酸化物を形成する。Cr含有量が0.50%未満では、焼入性向上の効果を得ることができない。また、表面においてSi-Al-Cr酸化

物を好ましく形成させることができない。そのため、C r含有量は0.50%以上とする。C r含有量は、好ましくは0.60%以上であり、より好ましくは0.70%以上であり、より一層好ましくは0.80%以上である。

一方、C r含有量が2.00%超では、熱延鋼板の化成処理性が著しく低下する。したがって、C r含有量は2.00%以下とする。C r含有量は、好ましくは1.80%以下であり、より好ましくは1.60%以下である。

[0024] P : 0.100%以下

Pは、固溶強化により熱延鋼板の強度を高める作用を有する元素である。したがって、Pを積極的に含有させてもよい。しかし、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熱延鋼板の穴広げ性および限界破断板厚減少率の低下が顕著となる。したがって、P含有量は、0.100%以下とする。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く0%であってもよいが、精錬コストの観点から、0.001%以上とすることが好ましい。

[0025] S : 0.0300%以下

Sは、鋼中に硫化物系介在物を形成して熱延鋼板の穴広げ性および限界破断板厚減少率を低下させる。S含有量が0.0300%を超えると、熱延鋼板の穴広げ性および限界破断板厚減少率が著しく低下する。したがって、S含有量は0.0300%以下とする。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く0%であってもよいが、精錬コストの観点から、0.0001%以上とすることが好ましい。

[0026] N : 0.1000%以下

Nは、熱延鋼板の穴広げ性および限界破断板厚減少率を低下させる作用を有する。N含有量が0.1000%超では、熱延鋼板の穴広げ性および限界破断板厚減少率が著しく低下する。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、より好ましくは0.0700%以下であり、より一層好ましくは0.0100%以下である。N含有量の下限は特に規定する必要はなく0%であってもよいが、

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をより微細化する場合には、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。

[0027] 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%以下とする。O含有量は、好ましくは0.0080%以下であり、より好ましくは0.0050%以下である。O含有量は0%であってもよいが、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、または0.0010%以上としてもよい。

[0028] 本実施形態に係る熱延鋼板の化学組成の残部は、Feおよび不純物であってもよい。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、および／または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。

[0029] 本実施形態に係る熱延鋼板は、Feの一部に代えて、下記元素を任意元素として含有してもよい。これらの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、任意元素について詳細に説明する。

[0030] Ti : 0.001~0.300%

Nb : 0.001~0.100%

V : 0.001~0.500%

Ti、NbおよびVは、炭化物および窒化物として鋼中に微細析出し、析出強化により鋼の強度を向上させる元素である。上記作用による効果をより確実に得るためには、Ti、Nb、Vのうちいずれか1種でもその含有量を0.001%以上とすることが好ましい。Ti、NbおよびVの含有量はそれぞれ、好ましくは0.010%以上である。

一方、Ti含有量が0.300%を超えると、Nb含有量が0.100%を超えると、あるいは、V含有量が0.500%を超えると、熱延鋼板の加

工性が劣化する。また、これらの元素を過剰に含有させることは経済的に好ましくない。そのため、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。

[0031] Cu: 0.01~2.00%

Mo: 0.01~1.00%

Ni: 0.02~2.00%

B: 0.0001~0.0100%

Cu、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は鋼中に炭化物として析出して熱延鋼板の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。

[0032] 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熱延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、より好ましくは1.00%以下である。

[0033] 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として析出して熱延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、Mo含有量を0.01%以上とすることが好ましく、0.02%以上とすることがより好ましい。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、より好ましくは0.20%以下である。

[0034] 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、N i 含有量は0.02%以上とすることが好ましい。N i 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、N i 含有量は2.00%以下とする。

[0035] 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%以上とすることが好ましく、0.0002%以上とすることがより好ましい。しかし、B含有量が0.0100%超では、熱延鋼板の成形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。

[0036] Ca : 0.0005~0.0200%
Mg : 0.0005~0.0200%
REM : 0.0005~0.1000%
Bi : 0.0005~0.0200%

Ca、MgおよびREMは、いずれも、鋼中の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、熱延鋼板の穴広げ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種以上の含有量を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、却って熱延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0.0200%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0.0200%以下とする。Bi含有量は、好ましくは0.0100%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。

[0037] As : 0.001~0.100%

Asは、オーステナイト単相化温度を低下させることにより、旧オーステナイト粒を細粒化させて、熱延鋼板の穴広げ性の向上に寄与する。この効果を確実に得るためには、As含有量を0.001%以上とすることが好ましい。

一方、Asを多量に含有させても上記効果は飽和するため、As含有量は0.100%以下とする。

[0038] Zr : 0.01~1.00%

Co : 0.01~1.00%

Zn : 0.01~1.00%

W : 0.01~1.00%

$Zr + Co + Zn + W \leq 1.00\% \quad \dots (A)$

ただし、前記式(A)中の各元素記号は、当該元素の質量%での含有量を示し、当該元素を含有しない場合は0を代入する。

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。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。すなわち、前記式(A)の左辺の値を1.00%以下としてもよい。Zr、Co、ZnおよびWは含有させなくてもよい。そのため、それぞれの含有量は0%であってもよい。固溶強化により熱延鋼板の強度を向上させるため、Zr、Co、ZnおよびWの含有量はそれぞれ0.01%以上であってもよい。

[0039] Sn : 0~0.05%

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、Snを多量に含有させると熱

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。Snは含有させなくてもよいため、Sn含有量は0%であってもよい。熱延鋼板の耐食性を高めるため、Sn含有量は0.01%以上としてもよい。

[0040] 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。

熱延鋼板が表面にめっき層を備える場合は、必要に応じて、機械研削等によりめっき層を除去してから、化学組成の分析を行ってもよい。

[0041] 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は、板厚方向の表面から1/4位置における金属組織が、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、グレーレベル共起行列法により、前記金属組織のSEM画像を解析することによって得られる、下記式(1)で示されるEntropy値が11.0以上であり、下記式(2)で示されるInverse difference normalized値が1.020未満であり、下記式(3)で示されるCluster Shade値が $-8.0 \times 10^5 \sim 8.0 \times 10^5$ であり、Mn濃度の標準偏差が0.60質量%以下であり、前記表面において、円相当半径が $0.500 \mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度が $2.0 \times 10^3 \text{個}/\text{cm}^2$ 以下であり、円相当半径が $0.005 \sim 0.050 \mu\text{m}$ であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度が $1.0 \times 10^5 \text{個}/\text{cm}^2$ 以上である。

[0042] そのため、本実施形態に係る熱延鋼板は、高い強度および限界破断板厚減少率、並びに、優れた穴広げ性、せん断加工性および耐食性を得ることができる。

なお、本実施形態では、板厚方向の表面から1／4位置の領域における金属組織の組織分率、Entropy値、Inverse difference normalized値、Cluster Shade値、およびMn濃度の標準偏差を規定する。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。

また、ここでいう「表面」とは、熱延鋼板がめっき層を備える場合においてはめっき層と鋼板との界面のことをいう。

[0043] 残留オーステナイトの面積率：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、安定的な亀裂発生を阻害し、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率が3．0％以上では、上記作用が顕在化し、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。また、熱延鋼板において所望の強度を得ることができない。したがって、残留オーステナイトの面積率は3．0％未満とする。残留オーステナイトの面積率は、好ましくは1．5％未満、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率は0％であってもよい。

[0044] 残留オーステナイトの面積率の測定方法には、X線回折、EBSP（電子後方散乱回折像、Electron Back Scattering Diffraction Pattern）解析、磁気測定による方法などがある。本実施形態では、残留オーステナイトの面積率はX線回折により測定

する。

[0045] 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率の測定では、まず、熱延鋼板の板厚方向の表面から1/4位置の断面において、長手方向の任意の位置で1mm以上、板幅方向の端面から1/4位置を中心に1mm以上の領域における金属組織が観察できるようにサンプルを採取する。上記サンプルを、 $\text{Co-K}\alpha$ 線を用いて、 $\alpha(110)$ 、 $\alpha(200)$ 、 $\alpha(211)$ 、 $\gamma(111)$ 、 $\gamma(200)$ 、 $\gamma(220)$ の計6ピークの積分強度を求める。次に、前記積分強度から強度平均法を用いて残留オーステナイトの体積率を算出する。得られた残留オーステナイトの体積率を、残留オーステナイトの面積率とみなす。

[0046] フェライトの面積率：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場合がある。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、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ため、好ましくない。フェライトの面積率が5.0%以上では、上記作用が顕在化する。したがって、フェライトの面積率は5.0%未満とする。フェライトの面積率は、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、フェライトの面積率は0%であってもよい。

[0047] マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積率の合計：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率の合計が92.0%以下であると、熱延鋼板において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率の合計は92.0%超とする。好ましくは93.0%以上、95.0%以上、97.0%

以上または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率の合計は多い程好ましいため、100.0%としてもよい。

[0048] 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。残部組織の面積率の上限を、6.0%、5.0%、4.0%、3.0%または1.5%としてもよい。

[0049] 各組織の面積率の測定は、以下の方法で行う。

圧延方向に平行な板厚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、粒径0.25 μm の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。サンプル断面において、長手方向の任意の位置で50mm以上、板厚方向の端面から1/4位置を中心に50mm以上の領域における結晶方位情報を得る。結晶方位情報は、0.1 μm の測定間隔で電子後方散乱回折法を用いて測定することで得る。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 9.6×10^{-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。観察面積は40000 μm^2 とする。

[0050] 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、当該結晶粒の面積率を算出することで、パーライトの面積率を得る。

[0051] その後、パーライトと判別された結晶粒を除く結晶粒のうち、体心立方構造と判定された結晶粒に対し、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°以下の領域をフェライトと判定する。この際、Grain Tolerance Angleは15°に設定しておき、フェライトと判定され

た領域の面積率を求めることで、フェライトの面積率を得る。

[0052] 次に、マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトのそれぞれの面積率の測定方法について、以下に説明する。

まず、上述のEBSD測定領域と同領域をSEMで観察するために、観察位置近傍にビッカース圧痕を打刻する。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観察面と同一視野をSEMにより倍率3000倍で観察する。

[0053] 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。それぞれの面積率を算出することで、焼き戻しマルテンサイトの面積率、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率を差し引くことにより、マルテンサイトの面積率を得る。マルテンサイトの面積率および焼き戻しマルテンサイトの面積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率の合計を得る。

[0054] なお、観察面表層のコンタミ除去については、粒子径0.1 μm 以下のアルミナ粒子を用いたバフ研磨、あるいはAryonsパタリング等の手法を用いればよい。

[0055] 本実施形態では各組織の面積率の測定をX線回折、EBSD解析およびSEM観察により行っているため、測定して得られた各組織の面積率の合計が100.0%にならない場合がある。上述の方法により得られた各組織の面積率の合計が100.0%にならない場合には、各組織の面積率の合計が100.0%になるように、各組織の面積率を換算する。例えば、各組織の面積率の合計が103.0%であった場合、各組織の面積率に「100.0 /

103.0」をかけて、各組織の面積率を得る。

[0056] Entropy値：11.0以上

Inverse difference normalized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Entropy値（E値）および金属組織の均一性を示すInverse difference normalized値（I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。

[0057] 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、亀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。

[0058] 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。本実施形態において、マルテンサイトおよび焼き戻しマルテンサイトの面積率の合計が92.0%超である金属組織を有する熱延鋼板では、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。このため、本実施形態では、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亀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。

[0059] Cluster Shade 値: $-8.0 \times 10^5 \sim 8.0 \times 10^5$

Cluster Shade 値 (CS 値) は金属組織の歪度を示す。CS 値は、金属組織を撮影して得られた画像中の輝度の平均値に対し、平均値を上回る輝度を持つ点が多いと正の値となり、平均値を下回る輝度を持つ点が多いと負の値となる。

[0060] 電子顕微鏡の 2 次電子像においては、観察対象物の表面凹凸が大きい場所では輝度が大きくなり、凹凸が小さい場所では輝度が小さくなる。観察対象物の表面の凹凸は、金属組織内の粒径や強度分布に大きく影響を受ける。本実施形態における CS 値は、金属組織の強度のばらつきが大きいまたは組織単位が小さいと大きくなり、強度のばらつきが小さいまたは組織単位が大きいと小さくなる。

[0061] 本実施形態では、CS 値を 0 に近い所望の範囲に保つことが重要である。CS 値が -8.0×10^5 未満であると、熱延鋼板の限界破断板厚減少率が低下する。これは、金属組織中に粒径の大きい結晶粒が存在し、極限変形中にその結晶粒が優先的に破壊するためと推定される。そのため、CS 値は -8.0×10^5 以上とする。好ましくは -7.5×10^5 以上であり、より一層好ましくは -7.0×10^5 以上である。

一方、CS 値が 8.0×10^5 超であると、熱延鋼板の限界破断板厚減少率が低下する。これは、金属組織中の微視的な強度のばらつきが大きく、極限

変形中のひずみが局所に集中し破断し易くなるためと推定される。そのため、CS値は 8.0×10^{-5} 以下とする。好ましくは 7.5×10^{-5} 以下であり、より一層好ましくは 7.0×10^{-5} 以下である。

[0062] E値、I値およびCS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、I値およびCS値を算出するために撮影するSEM画像の撮影領域は、板幅方向の端面から1/4位置において、圧延方向に平行な断面で、板厚方向の表面から1/4位置を中心に $160\mu\text{m} \times 160\mu\text{m}$ とし、観察視野数は5視野とする。SEM画像の撮影には、株式会社日立ハイテクノロジーズ製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。

[0063] 次に、得られたSEM画像を 880×880 ピクセルの領域（観察領域は実寸で $160\mu\text{m} \times 160\mu\text{m}$ ）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。

[0064] 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 ($k=0 \cdots 89, 91, \cdots 179$)と表現する。各画像に対し、生成された p_k を全ての k ($k=0 \cdots 89, 91 \cdots 179$)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)～(5)を用いて、E値、I値およびCS値をそれぞれ算出する。なお、全視野について測定して得られた平均値を算出する。

[0065] 下記式(1)～式(5)中の $P(i, j)$ はグレーレベル共起行列であり

、行列Pのi行j列目の値をP(i, j)と表記している。なお、前述のとおり256×256の行列Pを用いて算出されるため、この点を強調したい場合、下記式(1)～(5)を下記式(1')～(5')に修正することができる。ここで、下記式(2)中のLはSEM画像の取り得るグレースケールのレベル数(Quantization levels of grayscale)であり、本実施形態では上述の通り256階調のグレースケールにてSEM画像を出力するため、Lは256である。下記式(1)式のドット記号「.」は、積を表す。下記式(2)および(3)中のiおよびjは1～前記Lの自然数であり、下記式(3)中の μ_x および μ_y はそれぞれ下記式(4)および(5)で示される。

下記式(1')～(5')では、行列Pのi行j列目の値を P_{ij} と表記している。

[0066] [数6]

$$Entropy = -\sum_i \sum_j P(i, j) \cdot \log(P(i, j)) \quad \dots (1)$$

[0067] [数7]

$$Inverse\ difference\ normalized = \sum_i \sum_j \frac{P(i, j)}{1 + \frac{|i - j|}{L}} \quad \dots (2)$$

[0068] [数8]

$$Cluster\ Shade = \sum_i \sum_j (i + j - \mu_x - \mu_y)^3 P(i, j) \quad \dots (3)$$

[0069] [数9]

$$\mu_x = \sum_i \sum_j i(P(i, j)) \quad \dots (4)$$

[0070] [数10]

$$\mu_y = \sum_i \sum_j j(P(i, j)) \quad \dots (5)$$

[0071] [数11]

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

[0072] [数12]

$$Inverse \ difference \ normalized = \sum_{i=1, j=1}^{i=256, j=256} P_{ij} / (1 + |i - j| / 256) \quad \dots (2')$$

[0073] [数13]

$$Cluster \ Shade = \sum_{i=1, j=1}^{i=256, j=256} (i + j - \mu_x - \mu_y)^3 P_{ij} \quad \dots (3')$$

[0074] [数14]

$$\mu_x = \sum_{i=1, j=1}^{i=256, j=256} i(P_{ij}) \quad \dots (4')$$

[0075] [数15]

$$\mu_y = \sum_{i=1, j=1}^{i=256, j=256} j(P_{ij}) \quad \dots (5')$$

[0076] 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（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、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低下を防ぐことができる。Mn濃度の標準偏差は、0.55質量%以下または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。必要に応じて、その下限を0.20質量%または0.28質量%としてもよい。

[0077] Mn濃度の標準偏差は以下の方法により得る。

熱延鋼板の圧延方向に平行な板厚断面を鏡面研磨した後に、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 15 kV とし、倍率を 5000 倍として試料圧延方向に $20\text{ }\mu\text{m}$ 及び試料板厚方向に $20\text{ }\mu\text{m}$ の範囲の分布像を測定する。より具体的には、測定間隔を $0.1\text{ }\mu\text{m}$ とし、 40000 か所以上のMn濃度を測定する。次いで、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。

[0078] 表面における、円相当半径が $0.500\text{ }\mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度： 2.0×10^3 個/ cm^2 以下

表面における、円相当半径が $0.005\sim 0.050\text{ }\mu\text{m}$ であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度： 1.0×10^5 個/ cm^2 以上

本発明者らは、表面に形成される、Si-Al-Cr酸化物のうち、円相当半径が $0.500\text{ }\mu\text{m}$ 以上であるものと、円相当半径が $0.005\sim 0.050\text{ }\mu\text{m}$ であるものの個数密度を所望の範囲内に制御することで、熱延鋼板の耐食性を向上できることを知見した。

[0079] 表面において、円相当半径が $0.500\text{ }\mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度が 2.0×10^3 個/ cm^2 超であると、化成処理時に、局部的に溶液と鋼板との電気化学反応が妨げられ、リン酸亜鉛の皮膜が鋼板に付着せず、熱延鋼板の耐食性が劣化する。そのため、表面における、円相当半径が $0.500\text{ }\mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度は 2.0×10^3 個/ cm^2 以下とする。表面における円相当半径が $0.500\text{ }\mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度は、好ましくは 1.8×10^3 個/ cm^2 以下であり、より好ましくは 1.5×10^3 個/ cm^2 以下である。

円相当半径が $0.500\text{ }\mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度は、 0.1×10^3 個/ cm^2 以上としてもよい。

[0080] 表面において、円相当半径が $0.005\sim 0.050\text{ }\mu\text{m}$ であるSi-Al

l-Cr 酸化物の個数密度が 1.0×10^5 個/cm² 未満であると、熱延鋼板の耐食性が劣化する。このメカニズムは定かではないが、微小な Si-Al-Cr 酸化物においては、電気化学反応を妨げる効果よりも、表面積の増加によるアンカー効果により、リン酸亜鉛の皮膜が付着し易くなるためと考えられる。そのため、表面における、円相当半径が $0.005 \sim 0.050 \mu\text{m}$ である Si-Al-Cr 酸化物の個数密度は 1.0×10^5 個/cm² 以上とする。表面における円相当半径が $0.005 \sim 0.050 \mu\text{m}$ である Si-Al-Cr 酸化物の個数密度は、好ましくは 3.0×10^5 個/cm² 以上であり、より好ましくは 5.0×10^5 個/cm² 以上である。

表面における円相当半径が $0.005 \sim 0.050 \mu\text{m}$ である Si-Al-Cr 酸化物の個数密度は、 100.0×10^5 個/cm² 以下、 50.0×10^5 個/cm² 以下、 30.0×10^5 個/cm² 以下、 15.0×10^5 個/cm² 以下としてもよい。

[0081] なお、本実施形態においては、表面において、円相当半径が $0.005 \mu\text{m}$ 未満である Si-Al-Cr 酸化物の個数密度、および、円相当半径が $0.050 \mu\text{m}$ 超、 $0.500 \mu\text{m}$ 未満である Si-Al-Cr 酸化物の個数密度を制限する必要は無い。本実施形態に係る化学組成と、後述する製造方法とにより製造される熱延鋼板においては、本実施形態に係る熱延鋼板の特性に悪影響を与える量の、円相当半径が $0.005 \mu\text{m}$ 未満である Si-Al-Cr 酸化物、および、円相当半径が $0.050 \mu\text{m}$ 超、 $0.500 \mu\text{m}$ 未満である Si-Al-Cr 酸化物は形成されないためである。

[0082] 表面における Si-Al-Cr 酸化物の個数密度は以下の方法により測定する。

熱延鋼板から板厚方向における表面（板面）が観察面となるようにサンプルを切り出す。日本パーカライズング社製の FC-E6403 を用いて観察面を 60°C で 60 秒脱脂した後、アセトンに浸漬して 90 秒超音波洗浄を行う。その後、倍率 3000 倍で 10 視野以上観察する。析出物の組成は EDS（エネルギー分散型 X 線分光器）により測定することができる。析出物の

うち、S i、A l、C rおよびOを含有する析出物のうち、円相当半径で0.500 μ m以上のもの、および0.005~0.050 μ mのものを選び、それらの個数を数え、測定面積で除することで、円相当半径が0.500 μ m以上であるS i-A l-C r酸化物の個数密度、および円相当半径が0.005~0.050 μ mであるS i-A l-C r酸化物の個数密度を得る。

[0083] なお、析出物についてEDS分析して、S i、C rおよびOがそれぞれ10原子パーセント以上検出され、A lが5原子パーセント以上検出された場合、その析出物をS i-A l-C r酸化物とみなす。なお、EDS分析によりS i-A l-C r酸化物とみなした析出物と、粒形状や電子線強度によるコントラストが類似の析出物が存在した場合、EDS分析を省略してS i-A l-C r酸化物としてみなすことができる。

[0084] なお、熱延鋼板が表面にスケールを備える場合には、以下の条件で試料の酸洗処理を行ってから、上述の表面処理に供する。

酸洗処理は常法で行えばよく、例えば、塩酸濃度が3~10体積%の塩酸に85~98℃の温度で20~300秒間浸漬する条件で行えばよい。また、酸洗は1回でもよく、必要に応じ複数回に分けて行ってもよい。上記の酸洗時間(20~300秒)は、酸洗を1回だけ行う場合は当該酸洗の時間を意味し、酸洗を複数回行う場合はこれらの酸洗の合計時間を意味する。酸洗温度を85℃以上とすることによって、表層の酸化物を十分に除去することができるため、好ましい。酸洗温度の上限は特に限定されないが、現実的には98℃程度である。酸洗時間が300秒超の場合は、表面粗度が過度に粗くなって表面性状が悪化し、さらに、冷間圧延後に残った凹凸がノッチのような効果を生じさせ、熱延鋼板の曲げ性が劣化する場合がある。酸洗時間の上限は、好ましくは200秒である。

[0085] 熱延鋼板が表面にめっき層および塗装などの表面処理皮膜を備える場合には、表面処理皮膜を除去してから得られる地鉄表面について上述した酸洗処理を行った後に、上述の表面処理に供する。表面処理皮膜を除去する方法は

、地鉄の表面粗さに影響を及ぼさない範囲内で、表面処理皮膜の種類に応じて適宜選択することができる。例えば、表面処理皮膜が、電気亜鉛めっき、電気Zn-Ni合金めっき、熔融亜鉛めっき、合金化熔融亜鉛めっき、熔融Zn-Al合金めっき、熔融Zn-Al-Mg合金めっき、熔融Zn-Al-Mg-Si合金めっきなどの亜鉛めっき層である場合、インヒビターを添加した希塩酸を用いて亜鉛めっき層を溶解させればよい。これにより、亜鉛めっき層のみを鋼板から剥離させることができる。インヒビターとは、地鉄の過溶解防止による粗さの変化を抑制するために使用する添加剤である。例えば、5体積%に希釈した塩酸に、0.6g/Lの濃度になるように、朝日化学工業株式会社製の塩酸酸洗用腐食抑制剤「イビットNo. 700BK」を添加したものをを用いることができる。また、表面処理皮膜が、熔融アルミニウムめっきなどのアルミめっき層である場合、JIS G 3314:2019の記載に準拠して、水酸化ナトリウム水溶液と、ヘキサメチレンテトラミンとを添加した希塩酸水溶液に順次浸漬し、めっきの溶解に起因した発泡が収まるまで浸漬することで、Alめっきを溶解させる。また、表面処理皮膜が、電着塗装であった場合、剥離剤（ネオリバーSP-751：三彩化工（株）製）を用いて電着塗膜を剥離させる。

[0086] 引張強さ

熱延鋼板の引張強さは、JIS Z 2241:2011に準拠して評価する。試験片はJIS Z 2241:2011の5号試験片とする。試験片の採取位置は、板幅方向の端面から1/4位置とし、板幅方向を試験片の長手方向とすればよい。

[0087] 本実施形態に係る熱延鋼板は、引張強さが980MPa以上であることが好ましい。引張強さは、より好ましくは1000MPa以上である。引張強さを980MPa以上とすることで、適用部品が限定されることなく、車体軽量化の寄与を大きくすることができる。引張強さの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。

[0088] 穴広げ性

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。穴広げ率の上限は特に限定する必要は無いが、85%以下または80%以下としてもよい。

穴広げ率(λ)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。

[0089] 板厚

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、0.5~8.0 mmとしてもよい。熱延鋼板の板厚が0.5 mm未満では、圧延完了温度の確保が困難になるとともに圧延荷重が過大となって、熱間圧延が困難となる場合がある。したがって、本実施形態に係る熱延鋼板の板厚は0.5 mm以上としてもよい。好ましくは1.2 mm以上または1.4 mm以上である。一方、板厚が8.0 mm超では、金属組織の微細化が困難となり、上述した金属組織を得ることが困難となる場合がある。したがって、板厚は8.0 mm以下としてもよい。好ましくは6.0 mm以下である。

[0090] 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。

[0091] 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。

[0092] 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）～（１１）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。また、応力は鋼板の圧延方向に負荷する張力のことをいう。

[0093] （１）スラブを $700\sim 850^{\circ}\text{C}$ の温度域で 900 秒以上保持した後、更に加熱し、 1100°C 以上の温度域で 6000 秒以上保持する。

（２）粗圧延前に 1200°C 以上の温度域にて１回以上デスケリングを行い、粗圧延中に 1150°C 以上の温度域にて２回以上デスケリングを行い、且つ、 1150°C 以上の温度域でのデスケリング間の合計圧下率の最大値を 40% 以上とする。

（３）粗圧延のうち、圧下率が 20% 超となる圧延の最終段から、粗圧延完了後のデスケリングまでの最高温度を 1130°C 以下とする。

（４） $850\sim 1100^{\circ}\text{C}$ の温度域での合計圧下率が 90% 以上となるように熱間圧延を行う。

（５）熱間圧延の最終１段前の圧延完了後から最終段の圧延開始前までに、 170 kPa 以上の応力を鋼板に負荷する。

（６）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°C 以上、 1010°C 未満となるように熱間圧延を完了する。

（７）熱間圧延の最終段の圧延完了後から、鋼板が 800°C に冷却されるまでに、 200 kPa 未満の応力を鋼板に負荷する。

（８）熱間圧延完了から、 600°C までの平均冷却速度が $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上となるように加速冷却する。

（９） $450\sim 600^{\circ}\text{C}$ の温度域の平均冷却速度が $30^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上、 $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 未満となるように冷却する。

（１０）巻取り温度 $\sim 450^{\circ}\text{C}$ の温度域の平均冷却速度が $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上となるように加速冷却する。

(11) 350℃以下の温度域で巻き取る。

[0094] 上記製造方法を採用することにより、高い強度および限界破断板厚減少率、並びに、優れた穴広げ性、せん断加工性および耐食性を有する熱延鋼板を安定して製造することができる。

[0095] (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

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る。また、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。

[0096] 熱間圧延に供するスラブは、スラブ加熱時に、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。

[0097] 700～850℃の温度域における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との間で分配し、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ミクロ偏析を解消し、Mn濃度の標準偏差を著しく減ずることができる。また、1100℃以上の温度域で6000秒以上保持することで、Mn濃度の標準偏差を著しく減ずることができる。

[0098] 熱間圧延は、多パス圧延としてリ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および圧延中の鋼板への応力負荷の観点から、少なくとも最終の2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。

[0099] (2) 粗圧延前のデスクーリング条件、粗圧延中のデスクーリングおよび圧延条件

粗圧延前には、1200℃以上の温度域にて1回以上デスクーリングを行うことが好ましい。粗圧延前において1回以上のデスクーリングを1200

℃以上の温度域で行うことで、加熱炉内で形成した1次スケールを除去し、その後のデスケリング不良の発生を抑制できる。その結果、熱延鋼板の表面において、円相当半径が $0.500\mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度を好ましく制御することができる。 1200°C 以上の温度域におけるデスケリングの回数の上限は特に限定しないが、6回以下としてもよい。

[0100] 粗圧延では複数回の圧延およびデスケリングが行われる。粗圧延中には、圧延と圧延との間に、あるいは、複数回の圧延の後にデスケリングが行われる。本実施形態では、粗圧延中に、 1150°C 以上の温度域にて2回以上のデスケリングを行い、且つ、 1150°C 以上の温度域でのデスケリング間の合計圧下率の最大値を40%以上とすることが好ましい。 1150°C 以上の温度域で2回以上のデスケリングを行うことで、粗圧延前段において形成したスケール厚を低減し、あるいはスケールを除去することで、熱延鋼板の表面において、円相当半径が $0.500\mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度を好ましく制御することができる。また、 1150°C 以上の温度域でのデスケリング間の合計圧下率の最大値を40%以上とすることで、デスケリングの効果を高めることができ、熱延鋼板の表面において、円相当半径が $0.500\mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度を好ましく制御することができる。

[0101] 1150°C 以上の温度域でのデスケリング間の合計圧下率の最大値を40%以上とするためには、例えば、 1150°C 以上の温度域での、あるデスケリング間において、圧下率が40%以上となる圧延を1回行うか、あるいは、合計圧下率が40%以上となるように複数回の圧延を行えばよい。

[0102] 1150°C 以上の温度域における各デスケリング間の合計圧下率は、 1150°C 以上の温度域における n 回目のデスケリング前の板厚を t_0 とし、 1150°C 以上の温度域における $n+1$ 回目のデスケリング後の出口板厚を t_1 としたとき、 $\{(t_0 - t_1) / t_0\} \times 100 (\%)$ で表すことができる。 n 回目のデスケリングと $n+1$ 回目のデスケリングとの間には、1

回のための圧延が行われてもよく、複数回の圧延が行われてもよい。

[0103] (3) 粗圧延中、粗圧延完了後の温度条件

粗圧延のうち、圧下率が20%超となる圧延の最終段から、粗圧延完了後のデスケーリングまでの最高温度を1130℃以下とすることが好ましい。粗圧延後には、粗圧延において生じたスケールを除去するためにデスケーリングが行われる。また、粗圧延の最終段の圧延後は、鋼板内部からの復熱により鋼板の温度が上昇する。本実施形態では、粗圧延のうち、圧下率が20%超となる圧延の最終段から、粗圧延完了後に行うデスケーリングまでの間において、復熱により上昇する鋼板温度の最高温度を1130℃以下に制御することが好ましい。粗圧延のうち、圧下率が20%超となる圧延の最終段から、粗圧延完了後に行うデスケーリングまでの間の最高温度を1130℃以下とすることで、円相当半径が0.005~0.050μmであるSi-Al-Cr酸化物の個数密度を好ましく制御することができる。

[0104] なお、鋼板の均熱を目的として、粗圧延のうち、圧下率が20%超となる圧延の最終段から、粗圧延完了後に行うデスケーリングまでの間に加熱することで鋼板温度を上昇させる場合であっても、最高温度を1130℃以下に制御することが好ましい。

また、ここでいう「圧下率が20%超となる圧延の最終段」とは、仕上げ圧延の最後の圧延とは限らない。例えば、仕上げ圧延の最後の圧延の圧下率が20%以下であり、最終1段前の圧延の圧下率が20%超であれば、この最終1段前の圧延が、「圧下率が20%超となる圧延の最終段」である。

[0105] (4) 熱間圧延の合計圧下率：850~1100℃の温度域で90%以上

850~1100℃の温度域での合計圧下率が90%以上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る。そして、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℃の温度域での合計圧下率が90%以上となるような

熱間圧延を行うことが好ましい。

なお、ここでいう熱間圧延には粗圧延および仕上げ圧延を含む。

[0106] なお、850～1100℃の温度域の圧下率とは、この温度域の圧延における最初の圧延前の入口板厚を t_0 とし、この温度域の圧延における最終段の圧延後の出口板厚を t_1 としたとき、 $\{(t_0 - t_1) / t_0\} \times 100$ (%)で表すことができる。

[0107] (5) 熱間圧延の最終1段前の圧延完了後から、最終段の圧延開始前までに鋼板に負荷する応力：170kPa以上

熱間圧延の最終1段前の圧延完了後から、最終段の圧延開始前までに、170kPa以上の応力を鋼板に負荷することが好ましい。これにより、最終1段前の圧延完了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。

[0108] なお、ここでいう熱間圧延の最終1段前の圧延とは、仕上げ圧延の最終1段前の圧延のことである。例えば、仕上げ圧延をF1、F2…F6、F7のパスで行う場合には、F6のパスのことをいう。

[0109] 鋼板に負荷する応力が170kPa未満の場合、E値を所望の値と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とは、鋼板の長手方向に負荷する張力のことであり、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り、圧延スタンドで測定した圧延方向の荷重を、通板している鋼板の断面積で除することで求めることができる。

[0110] (6) 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、1010℃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°C 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°C 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 1010°C 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 値を所望の値とすることができる。

[0111] （７）熱間圧延の最終段の圧延完了後から、鋼板が 800°C に冷却されるまでに鋼板に負荷する応力： 200 kPa 未満

熱間圧延の最終段の圧延完了後から、鋼板が 800°C に冷却されるまでに、 200 kPa 未満の応力を鋼板に負荷することが好ましい。 200 kPa 未満の応力を鋼板に負荷することで、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 値を所望の値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 180 kPa 以下である。

[0112] （８）熱間圧延完了から 600°C までの平均冷却速度： $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上

熱間圧延完了から、 600°C までの平均冷却速度が $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上となるように加速冷却することで、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、熱延鋼板において所望の強度を得ることができる。また、 I 値を所望の値とすることができる。熱間圧延完了後、 600°C まで加速冷却する間に空冷等を行うと、フェライト量が増大する場合があるため、好ましくない。

[0113] 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 $300^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下が好ましい。

[0114] 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600℃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600℃に達する時までの所要時間で除した値のことをいう。

[0115] (9) 450～600℃の温度域の平均冷却速度：30℃/s以上、50℃/s未満

上記加速冷却終了後は、450～600℃の温度域の平均冷却速度が30℃/s以上、50℃/s未満となるように冷却することが好ましい。上記温度域の平均冷却速度を30℃/s以上、50℃/s未満とすることで、CS値を所望の値とすることができる。平均冷却速度が50℃/s超の場合は、金属組織中に粗大な結晶粒が生成し易く、CS値が -8.0×10^5 未満となる。平均冷却速度が30℃/s未満の場合には、硬質な組織の強度が上昇し軟質な組織との強度差が拡大するため、CS値が 8.0×10^5 超となる。

[0116] なお、ここでいう平均冷却速度とは、平均冷却速度が50℃/s以上である加速冷却の冷却停止温度から、平均冷却速度が30℃/s以上、50℃/s未満である冷却の冷却停止温度までの鋼板の温度降下幅を、平均冷却速度が50℃/s以上である加速冷却の停止時から、平均冷却速度が30℃/s以上、50℃/s未満である冷却の停止時までの所要時間で除した値のことをいう。

[0117] (10) 巻取り温度～450℃の温度域の平均冷却速度：50℃/s以上
パーライトの面積率を抑え、熱延鋼板において所望の強度を得るために、巻取り温度～450℃の温度域の平均冷却速度を50℃/s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。

[0118] なお、ここでいう平均冷却速度とは、平均冷却速度が30℃/s以上、50℃/s未満である冷却の冷却停止温度から巻取り温度までの鋼板の温度降下幅を、平均冷却速度が30℃/s以上、50℃/s未満である冷却の停止時から巻取りまでの所要時間で除した値のことをいう。

[0119] (11) 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。したがって、巻取り温度は350℃以下とすることが好ましい。

実施例

[0120] 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。

[0121] 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240～300mmのスラブを製造した。得られたスラブを用いて、表3A～表4Bに示す製造条件により、表5A～表6Bに示す熱延鋼板を得た。

なお、表4Aおよび表4Bに記載した巻取り温度は50℃が測定下限であるため、50℃と記載した例の実際の巻取り温度は50℃以下である。また、製造No. 15は、熱間圧延完了から721℃まで冷却した後、6.0秒間の空冷を行った。空冷時の平均冷却速度は5.0℃/s未満であった。

[0122] 得られた熱延鋼板に対し、上述の方法により、金属組織の面積率、E値、I値、CS値、Mn濃度の標準偏差、表面における、円相当半径が0.500μm以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度および円相当半径が0.005～0.050μmであるSi-Al-Cr酸化物の個数密度、引張強さ(TS)、並びに、穴広げ率(λ)を求めた。得られた測定結果を表5A～表6Bに示す。

[0123] 熱延鋼板の特性の評価方法

引張強さ

引張強さ(TS)が980MPa以上であった場合、高い強度を有すると

して合格と判定した。一方、引張強さ（TS）が980MPa未満であった場合、高い強度を有さないとして不合格と判定した。

[0124] 穴広げ率

穴広げ率（λ）が55%以上であった場合、穴広げ性に優れるとして合格と判定した。一方、穴広げ率（λ）が55%未満であった場合、穴広げ性に劣るとして不合格と判定した。

[0125] 限界破断板厚減少率

熱延鋼板の限界破断板厚減少率は引張試験により評価した。

引張特性を評価したときと同様の方法により引張試験を行った。引張試験前の板厚を t_1 、破断後の引張試験片の幅方向中央部における板厚の最小値を t_2 としたときに、 $(t_1 - t_2) \times 100 / t_1$ の値を算出することで、限界破断板厚減少率を得た。引張試験は5回実施し、限界破断板厚減少率の最大値および最小値を除いた3回の平均値を算出することで、限界破断板厚減少率を得た。

[0126] 限界破断板厚減少率が75.0%以上であった場合、高い限界破断板厚減少率を有する熱延鋼板であるとして合格と判定した。一方、限界破断板厚減少率が75.0%未満であった場合、高い限界破断板厚減少率を有する熱延鋼板でないとして不合格と判定した。

[0127] せん断加工性（破断面とせん断面との境界の直線性評価）

熱延鋼板のせん断加工性のうち、破断面とせん断面との境界の直線性は、打ち抜き試験を行い、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。

熱延鋼板の板幅中央位置に、穴直径10mm、クリアランス15%、打ち抜き速度3m/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亀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。

[0128] 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。

[0129] 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。

[0130] 打ち抜き試験において得られた直線度の最大値が 1.045 未満であった場合、優れたせん断加工性を有する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 1.045 以上であった場合、優れたせん断加工性を有さない熱延鋼板であるとして不合格と判定した。

[0131] 耐食性

酸洗後の熱延鋼板から 70 mm × 40 mm の試料を採取し、りん酸亜鉛処理 (SD5350 システム: 日本ペイント・インダストリアルコーディング社製規格) を施した後、その試験片の長さ方向に沿って 3 か所 (中央部および両端部) を、走査型電子顕微鏡 (SEM) を使って 1000 倍の倍率で観察した。酸洗条件は上述した酸洗処理と同じ条件とした。

化成処理結晶の被覆率が表面の面積に対して 98% 以上であった場合を耐食性に優れる熱延鋼板であると判断し、合格と判定した。一方、化成処理結晶の被覆率が表面の面積に対して 98% 未満であった場合を耐食性に優れる

熱延鋼板でないと判断し、不合格と判定した。

[0132] [表1]

鋼 No.	化学組成 (質量%) 残部はFe及び不純物											
	C	Si	Mn	sol. Al	Cr	P	S	N	O	Ti	Nb	V
A	0.213	0.76	1.44	0.326	1.20	0.009	0.0044	0.0052	0.0034	0.091		
B	0.052	0.78	1.51	0.324	1.16	0.009	0.0039	0.0049	0.0026	0.050		
C	0.054	0.92	1.33	0.316	1.19	0.012	0.0042	0.0054	0.0030	0.221		
D	0.051	0.71	1.11	0.303	1.19	0.008	0.0038	0.0049	0.0031	0.103		
E	0.042	0.71	1.31	0.331	1.18	0.008	0.0041	0.0049	0.0027	0.099		
F	0.046	0.77	1.28	0.317	1.82	0.009	0.0037	0.0042	0.0037	0.111		
G	0.053	0.79	1.30	0.306	0.71	0.010	0.0036	0.0052	0.0035	0.099		
H	0.048	0.73	3.62	0.317	1.20	0.008	0.0038	0.0047	0.0031	0.098		
I	0.050	0.80	1.29	0.327	1.17	0.008	0.0037	0.0048	0.0027	0.091		
J	0.058	0.88	1.44	0.317	1.24	0.010	0.0042	0.0054	0.0027			0.166
K	0.052	0.83	1.18	0.110	1.19	0.009	0.0039	0.0047	0.0028	0.051	0.012	0.019
L	0.042	0.85	1.21	0.304	1.23	0.009	0.0044	0.0051	0.0028	0.097		
M	0.053	0.70	1.22	0.310	1.15	0.009	0.0037	0.0053	0.0032	0.103		
N	0.058	0.89	1.32	0.318	1.21	0.008	0.0043	0.0050	0.0031	0.109		
O	0.056	0.47	1.28	0.322	1.23	0.008	0.0037	0.0048	0.0035	0.095		
P	0.052	0.88	1.37	0.332	0.42	0.012	0.0042	0.0052	0.0031	0.109		
Q	0.013	0.82	1.53	0.345	1.02	0.008	0.0037	0.0048	0.0035	0.092		
R	0.299	0.83	1.36	0.318	0.98	0.011	0.0040	0.0050	0.0029	0.109		
S	0.054	1.25	1.19	0.344	0.99	0.011	0.0042	0.0054	0.0026	0.103		
T	0.056	0.78	4.60	0.332	1.02	0.011	0.0039	0.0047	0.0027	0.105		
U	0.058	0.73	1.18	0.329	1.00	0.012	0.0039	0.0052	0.0033			
V	0.051	0.66	3.75	0.315	1.65	0.014	0.0031	0.0055	0.0029			

下線は本発明の範囲外であることを示す。

[0133]

[表2]

鋼 No.	化学組成(質量%) 残部はFe及び不純物												
	Cu	Mo	Ni	B	Ca	Mg	REM	Bi	As	Zr	Co	Zn	W
A								0.0040	0.038				
B													
C		0.18										0.12	
D										0.15			0.15
E										0.11			0.11
F												0.12	0.12
G	0.24			0.0029									
H													
I													0.04
J			0.32										
K													
L													
M					0.0028	0.0024							
N							0.0044						
O													
P													
Q													
R													
S													
T													
U													
V													

下線は本発明の範囲外であることを示す。

[表3A]

製造 No.	鋼 No.	700～850℃の 温度域での 保持時間		加熱 温度 ℃	1100℃以上の 温度域での 保持時間		粗圧延前の 1200℃以上の 温度域での デスヶ回数	粗圧延中の 1150℃以上の 温度域での デスヶ回数	粗圧延中の 1150℃以上の 温度域での デスヶ間の 合計圧下率 の最大値	粗圧延中の 1150℃以上の 温度域での デスヶ間の 合計圧下率 の最大値	圧下率20%超 となる圧延の 最終段から 粗圧延完了後の デスヶまでの 最高温度 ℃	850～1100℃の 温度域での 合計圧下率	最終1段前の 圧延完了後から 最終段の 圧延開始前 までに鋼板に 負荷する応力 kPa	備考
		s	s		s	回								
1	A	1234		1238	8845	2	6	43	1067	96	223	本発明例		備考
2	B	1347		1237	9216	2	6	45	1093	94	233	本発明例		
3	B	809		1243	9385	2	6	45	1074	96	204	比較例		
4	B	1356		1237	5150	2	6	41	1073	93	214	比較例		
5	B	1287		1236	9211	0	6	44	1104	96	198	比較例		
6	B	1301		1239	9162	2	1	44	1056	93	214	比較例		
7	B	1206		1240	8954	2	6	34	1083	94	208	比較例		
8	B	1235		1238	9312	2	6	43	1141	94	207	比較例		
9	B	1221		1237	8805	2	6	41	1114	87	223	比較例		
10	B	1249		1243	9232	2	6	45	1097	93	148	比較例		
11	B	1342		1240	9187	2	6	45	1105	96	213	比較例		
12	B	1298		1241	9124	2	6	42	1076	97	209	比較例		
13	B	1269		1244	8973	2	6	41	1080	96	218	比較例		
14	B	1210		1235	9116	2	6	43	1057	95	221	本発明例		
15	B	1354		1241	9208	2	6	44	1076	96	215	比較例		
16	B	1226		1240	9170	2	6	44	1075	97	211	本発明例		
17	B	1221		1242	8920	2	6	43	1089	95	219	比較例		
18	B	1427		1243	9363	2	6	41	1079	94	217	本発明例		
19	B	1252		1245	8837	2	6	41	1087	96	217	本発明例		
20	B	1306		1241	8920	2	6	43	1082	95	199	比較例		
21	B	1291		1222	8820	2	6	42	1055	94	201	比較例		
22	C	1397		1239	9282	2	6	41	1073	95	199	本発明例		
23	D	1207		1245	8911	2	6	42	1073	96	195	本発明例		
24	D	1316		1238	9291	2	6	43	1086	93	206	比較例		

下線は本発明の範囲外、または製造条件が好ましくなくことを示す。

[表3B]

製造 No.	鋼 No.	700～850℃の 温度域での 保持時間	加熱 温度	1100℃以上の 温度域での 保持時間	粗圧延前の 1200℃以上の 温度域での デスヶ回数	粗圧延中の 1150℃以上の 温度域での デスヶ回数	粗圧延中の 1150℃以上の 温度域での デスヶ間の 合計圧下率 の最大値	圧下率20%超 となる圧延の 最終段からの 粗圧延完了後の デスヶまでの 最高温度	850～1100℃の 温度域での 合計圧下率	最終段前の 圧延完了後から 最終段の 圧延開始前 までに鋼板に 負荷する応力	備考
		s	℃	s	回	回	%	℃	%	kPa	
25	D	1280	1180	9463	2	2	41	1054	92	211	比較例
26	E	1395	1241	9357	2	2	41	1061	96	217	本発明例
27	F	1399	1233	8905	2	2	45	1070	95	201	本発明例
28	G	1318	1245	9205	2	2	41	1070	96	219	本発明例
29	H	1360	1233	8964	2	2	41	1088	95	219	本発明例
30	I	1298	1237	8860	2	2	44	1066	96	208	本発明例
31	J	1444	1238	9083	2	2	41	1100	96	207	本発明例
32	K	1315	1244	9390	2	2	44	1078	93	205	本発明例
33	L	1226	1238	8842	2	2	44	1091	97	199	本発明例
34	M	1270	1239	9057	2	2	42	1096	94	202	本発明例
35	N	1400	1242	8870	2	2	45	1092	93	211	本発明例
36	O	1239	1241	9212	2	2	44	1096	93	210	本発明例
37	P	1284	1241	9289	2	2	43	1093	96	213	比較例
38	Q	1328	1236	9159	2	2	44	1080	96	203	比較例
39	R	1435	1238	8881	2	2	44	1058	96	205	比較例
40	S	1480	1241	9383	2	2	44	1097	96	216	比較例
41	T	1237	1239	8969	2	2	41	1073	93	219	比較例
42	U	1456	1236	9173	2	2	42	1059	97	213	本発明例
43	V	1411	1246	8935	2	2	45	1063	95	222	本発明例
44	B	1436	1231	9145	1	1	44	1076	93	201	本発明例
45	B	1251	1244	9121	2	2	43	1059	96	199	本発明例

下線は本発明の範囲外、または製造条件が好ましくないことを示す。

[表4A]

製造 No.	鋼 No.	熱間圧延 完了温度 Tf	最終段に おける 圧下率	熱間圧延の最終段の 圧延完了後から 鋼板が800℃に 冷却されるまでに 鋼板に負荷する応力	熱間圧延完了から 600℃までの 平均冷却速度	空冷 開始 温度	空冷 時間	450～600℃の 温度域での 平均冷却速度	巻取り温度～ 450℃の 温度域での 平均冷却速度	巻取り 温度	備考
1	A	942	16	183	122			38	85	300	本発明例
2	B	938	14	192	116			39	124	50	本発明例
3	B	910	15	188	111			41	147	50	比較例
4	B	939	13	183	111			40	131	50	比較例
5	B	923	13	185	111			42	142	50	比較例
6	B	926	17	190	118			40	143	50	比較例
7	B	943	15	181	121			41	118	50	比較例
8	B	917	15	180	113			38	155	50	比較例
9	B	923	14	188	122			41	115	50	比較例
10	B	930	16	179	110			41	134	50	比較例
11	B	1044	16	192	121			38	103	50	比較例
12	B	924	4	188	106			38	146	50	比較例
13	B	945	15	216	121			42	119	50	比較例
14	B	931	13	179	111			38	138	50	本発明例
15	B	938	16	185	72	721	6.0	39	83	50	比較例
16	B	939	13	188	108			38	130	50	本発明例
17	B	923	14	181	22			42	117	50	比較例
18	B	944	13	175	123			38	80	50	本発明例
19	B	943	17	179	110			41	52	50	本発明例
20	B	914	15	180	119			26	127	50	比較例
21	B	910	16	179	106			61	111	50	比較例
22	C	910	16	185	114			40	122	50	本発明例
23	D	936	18	193	122			38	147	50	本発明例
24	D	932	13	186	116			41	43	50	比較例

下線は本発明の範囲外、または製造条件が好ましくないことを示す。

[表4B]

製造 No.	鋼 No.	熱間圧延 完了温度 T _f	最終段に おける 圧下率	熱間圧延の最終段の 圧延完了後から 鋼板が800℃に 冷却されるまでに 鋼板に負荷する応力	熱間圧延完了から 600℃までの 平均冷却速度	空冷 開始 温度	空冷 時間	450～600℃の 温度域での 平均冷却速度	巻取り温度～ 450℃の 温度域での 平均冷却速度	巻取り 温度	備考
25	D	951	14	194	109			45	130	421	比較例
26	E	916	16	179	107			42	141	50	本発明例
27	F	930	14	194	102			41	62	50	本発明例
28	G	917	15	187	111			39	150	50	本発明例
29	H	914	15	190	118			39	147	50	本発明例
30	I	910	13	187	111			39	140	50	本発明例
31	J	927	13	192	121			40	127	50	本発明例
32	K	947	16	177	105			38	90	50	本発明例
33	L	932	15	190	118			39	143	50	本発明例
34	M	941	17	193	112			41	99	50	本発明例
35	N	940	14	178	109			41	98	50	本発明例
36	O	920	15	186	108			39	137	50	本発明例
37	P	941	13	177	118			41	101	50	比較例
38	Q	914	14	179	124			41	123	50	比較例
39	R	937	17	189	105			39	143	50	比較例
40	S	944	16	183	123			41	75	300	比較例
41	T	919	16	184	114			40	152	50	比較例
42	U	925	14	187	118			41	115	50	本発明例
43	V	930	14	178	107			39	120	50	本発明例
44	B	921	15	188	110			40	111	50	本発明例
45	B	911	16	181	114			42	99	50	本発明例

下線は本発明の範囲外、または製造条件が好ましくないことを示す。

[表5A]

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、 焼き戻し マルテン サイト	残部 組織	E値	I値	CS値	Mn濃度の 標準偏差	球相当半径が 0.500μm以上 であるSi-Al-Cr 酸化物の 個数密度	球相当半径が 0.005～0.050μm であるSi-Al-Cr 酸化物の 個数密度	備考
			面積%	面積%	面積%	面積%					×10 ³ 個/cm ²	×10 ⁵ 個/cm ²	
1	A	1.4	0.0	1.3	93.7	5.0	11.0	1.019	3.4	0.51	1.2	11.6	本発明例
2	B	2.9	0.8	0.0	96.5	2.7	11.4	1.003	3.9	0.45	1.0	11.0	本発明例
3	B	2.9	2.1	0.0	93.9	4.0	11.7	1.014	-5.4	0.66	1.3	7.7	比較例
4	B	2.9	2.3	0.0	92.0	5.7	11.8	1.017	-6.7	0.72	1.4	7.7	比較例
5	B	2.9	2.3	0.0	95.6	2.1	11.1	1.009	2.5	0.42	2.6	8.9	比較例
6	B	2.6	2.5	0.0	94.2	3.3	11.3	1.007	-0.8	0.38	2.8	1.6	比較例
7	B	2.9	2.7	0.0	95.9	1.4	11.6	1.005	5.3	0.33	3.6	12.9	比較例
8	B	2.9	2.1	0.0	94.2	3.7	11.5	1.011	3.5	0.48	1.0	0.6	比較例
9	B	2.9	4.2	0.0	92.7	3.1	11.4	1.001	-4.7	0.82	1.1	14.9	比較例
10	B	2.9	2.1	0.0	95.3	2.6	10.8	1.012	-1.1	0.50	0.3	12.1	比較例
11	B	2.9	4.4	0.0	92.4	3.2	10.6	1.018	1.7	0.48	1.4	13.1	比較例
12	B	2.9	2.1	0.0	95.1	2.8	10.4	1.016	-2.7	0.47	1.4	6.3	比較例
13	B	2.9	2.8	0.0	94.4	2.8	10.6	1.010	6.2	0.34	1.5	13.3	比較例
14	B	2.9	2.8	0.0	94.3	2.9	11.3	1.012	-0.8	0.50	1.3	12.3	本発明例
15	B	2.9	23.1	0.0	75.2	1.7	11.7	1.004	1.0	0.39	1.6	9.2	比較例
16	B	2.9	2.3	0.0	96.2	1.5	11.0	1.003	5.7	0.37	1.4	6.5	本発明例
17	B	2.9	10.2	0.0	81.6	8.2	11.6	1.023	-3.8	0.50	1.4	9.4	比較例
18	B	2.9	3.0	0.0	94.9	2.1	11.5	1.014	1.4	0.37	1.4	9.5	本発明例
19	B	2.9	2.8	0.0	95.5	1.7	11.3	1.004	2.7	0.46	0.7	14.3	本発明例
20	B	2.9	2.9	0.0	95.0	2.1	11.4	1.001	-10.4	0.46	1.6	10.0	比較例
21	B	2.9	2.3	0.0	94.2	3.5	11.4	1.002	9.8	0.37	0.5	8.7	比較例
22	C	2.4	2.2	0.0	96.0	1.8	11.3	1.002	-1.6	0.34	1.2	9.6	本発明例
23	D	2.6	2.8	0.0	94.1	3.1	11.9	1.011	2.6	0.42	1.0	8.7	本発明例

下線は本発明の範囲外、または特性が好ましくないことを示す。

[表5B]

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、 焼き戻し マルテン サイト	残部 組織	E値	I値	CS値	Mn濃度の 標準偏差	球相当半径が 0.500μm以上 であるSi-Al-Cr 酸化物の 個数密度	球相当半径が 0.005~0.050μm であるSi-Al-Cr 酸化物の 個数密度	備考
		mm	面積%	面積%	面積%	面積%	-	-	×10 ⁵	質量%	×10 ³ 個/cm ²	×10 ⁵ 個/cm ²	
24	D	2.6	3.6	3.2	85.0	8.2	11.9	1.009	4.5	0.42	1.7	10.4	比較例
25	D	2.6	0.0	0.0	92.3	7.7	11.9	1.022	0.5	0.39	1.2	12.3	比較例
26	E	2.6	2.6	0.0	93.3	4.1	11.8	1.013	6.0	0.39	1.2	6.7	本発明例
27	F	2.7	0.9	0.0	96.1	3.0	11.2	1.015	-1.2	0.39	0.6	5.1	本発明例
28	G	2.6	2.7	0.0	94.9	2.4	11.7	1.016	-2.9	0.36	0.4	1.3	本発明例
29	H	2.4	0.0	0.0	95.7	4.3	11.9	1.009	6.5	0.47	1.3	11.8	本発明例
30	I	2.6	2.4	0.0	94.3	3.3	11.5	1.012	6.2	0.41	1.3	7.8	本発明例
31	J	2.6	2.1	0.0	95.5	2.4	11.2	1.012	6.1	0.45	1.0	12.1	本発明例
32	K	2.7	1.9	0.0	93.0	5.1	11.5	1.009	6.5	0.33	1.6	7.8	本発明例
33	L	4.7	2.4	0.0	95.4	2.2	11.1	1.017	-5.0	0.42	0.7	12.2	本発明例
34	M	2.9	2.3	0.0	94.8	2.9	11.4	1.014	-1.6	0.41	1.2	5.6	本発明例
35	N	2.6	2.1	0.0	94.3	3.6	11.7	1.016	2.8	0.40	1.2	5.1	本発明例
36	O	2.6	2.7	0.0	93.5	3.8	11.6	1.018	4.3	0.36	0.3	6.8	本発明例
37	P	2.6	3.1	0.0	94.2	2.7	11.5	1.013	-2.3	0.41	0.9	0.7	比較例
38	Q	2.6	5.8	0.0	74.0	20.2	11.6	1.018	1.8	0.35	1.6	9.0	比較例
39	R	2.8	0.0	0.0	99.8	0.2	10.1	1.019	-6.6	0.48	1.6	12.4	比較例
40	S	2.6	6.4	2.4	91.2	0.0	11.3	1.007	4.4	0.49	0.8	11.0	比較例
41	T	2.6	0.0	0.0	93.0	7.0	11.2	1.011	6.7	0.67	0.8	11.2	比較例
42	U	2.6	1.0	0.0	97.1	1.9	11.3	1.007	-2.7	0.39	1.6	8.9	本発明例
43	V	2.4	2.3	2.7	93.2	1.8	11.1	1.015	-2.8	0.54	1.5	9.9	本発明例
44	B	2.9	1.5	0.0	94.2	4.3	11.5	1.011	-6.5	0.36	1.8	7.2	本発明例
45	B	2.9	2.1	0.0	94.0	3.9	11.3	1.013	-7.8	0.31	1.9	8.9	本発明例

下線は本発明の範囲外、または特性が好ましくないことを示す。

[表6]

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 せん断面との境界に おける直線度の最大値	限界板厚 減少率	化成処理 結晶の 被覆率	備考
		MPa	%	—	%	%	
1	A	1524	62	1.035	84.4	100	本発明例
2	B	1067	74	1.044	87.8	100	本発明例
3	B	990	58	1.052	81.7	100	比較例
4	B	994	62	1.056	77.4	100	比較例
5	B	989	60	1.041	88.0	93	比較例
6	B	997	69	1.036	77.8	96	比較例
7	B	993	57	1.038	75.8	97	比較例
8	B	990	59	1.040	75.4	93	比較例
9	B	983	61	1.055	82.4	100	比較例
10	B	989	55	1.064	78.1	100	比較例
11	B	984	61	1.048	80.6	100	比較例
12	B	995	64	1.059	79.6	100	比較例
13	B	981	63	1.063	81.4	100	比較例
14	B	999	59	1.033	88.7	100	本発明例
15	B	942	65	1.078	86.2	100	比較例
16	B	1001	58	1.041	81.6	100	本発明例
17	B	959	56	1.055	78.6	100	比較例
18	B	980	56	1.042	78.7	99	本発明例
19	B	997	60	1.029	77.5	100	本発明例
20	B	998	60	1.038	54.6	100	比較例
21	B	992	57	1.034	48.9	100	比較例
22	C	986	62	1.027	77.4	100	本発明例
23	D	999	67	1.036	79.0	98	本発明例
24	D	955	59	1.062	81.2	100	比較例
25	D	996	56	1.048	86.0	100	比較例
26	E	1018	70	1.043	81.8	98	本発明例
27	F	1006	59	1.037	87.5	98	本発明例
28	G	1008	69	1.035	82.3	98	本発明例
29	H	1235	62	1.041	89.4	99	本発明例
30	I	983	62	1.036	76.3	100	本発明例
31	J	1334	55	1.038	77.8	100	本発明例
32	K	990	64	1.039	84.0	100	本発明例
33	L	983	61	1.041	79.1	100	本発明例
34	M	985	69	1.039	78.2	100	本発明例
35	N	996	64	1.042	80.1	100	本発明例
36	O	994	58	1.037	78.6	100	本発明例
37	P	984	58	1.040	83.7	96	比較例
38	Q	864	42	1.057	81.0	100	比較例
39	R	1801	58	1.060	77.0	100	比較例
40	S	971	59	1.047	82.3	93	比較例
41	T	1149	61	1.058	83.5	100	比較例
42	U	1045	75	1.039	86.7	100	本発明例
43	V	982	65	1.043	87.0	99	本発明例
44	B	990	56	1.036	88.2	100	本発明例
45	B	987	60	1.033	89.4	100	本発明例

下線は本発明の範囲外、または特性が好ましくないことを示す。

[0141] 表5 A～表6を見ると、本発明例に係る熱延鋼板は、高い強度および限界

破断板厚減少率、並びに、優れた穴広げ性、せん断加工性および耐食性を有することが分かる。

一方、比較例に係る熱延鋼板は、いずれか1つ以上の特性が劣化していることが分かる。

産業上の利用可能性

[0142] 本発明に係る上記態様によれば、高い強度および限界破断板厚減少率、並びに、優れた穴広げ性、せん断加工性および耐食性を有する熱延鋼板を提供することができる。

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。

請求の範囲

[請求項1] 化学組成が、質量%で、

C : 0.040~0.250%、

Si : 0.40~1.00%、

Mn : 1.00~4.00%、

sol. Al : 0.100~0.500%、

Cr : 0.50~2.00%、

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 : 0~0.100%、

V : 0~0.500%、

Cu : 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 : 0~0.0200%、

As : 0~0.100%、

Zr : 0~1.00%、

Co : 0~1.00%、

Zn : 0~1.00%、

W : 0~1.00%、および

Sn : 0~0.05%を含有し、

残部がF eおよび不純物からなり、

下記式（A）を満たし、

板厚方向の表面から1／4位置における金属組織が、

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、

グレーレベル共起行列法により、前記金属組織のSEM画像を解析することによって得られる、下記式（1）で示されるEntropy値が11.0以上であり、

下記式（2）で示されるInverse difference normalized値が1.020未満であり、

下記式（3）で示されるCluster Shade値が $-8.0 \times 10^5 \sim 8.0 \times 10^5$ であり、

Mn濃度の標準偏差が0.60質量％以下であり、

前記表面において、円相当半径が $0.500 \mu\text{m}$ 以上であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度が 2.0×10^3 個/ cm^2 以下であり、円相当半径が $0.005 \sim 0.050 \mu\text{m}$ であるSi-Al-Cr酸化物の個数密度が 1.0×10^5 個/ cm^2 以上であることを特徴とする熱延鋼板。

$$Zr + Co + Zn + W \leq 1.00 \quad \dots (A)$$

ただし、前記式（A）中の各元素記号は、当該元素の質量％での含有量を示し、当該元素を含有しない場合は0を代入する。

ここで、下記式（1）～（5）中の $P(i, j)$ はグレーレベル共起行列であり、下記式（2）中のLは前記SEM画像の取り得るグレースケールのレベル数であり、下記式（2）および（3）中のiおよびjは1～前記Lの自然数であり、下記式（3）中の μ_x および μ_y

はそれぞれ下記式（４）および（５）で示される。

[数1]

$$Entropy = -\sum_i \sum_j P(i, j) \cdot \log(P(i, j)) \quad \dots (1)$$

[数2]

$$Inverse\ difference\ normalized = \sum_i \sum_j \frac{P(i, j)}{1 + \frac{|i - j|}{L}} \quad \dots (2)$$

[数3]

$$Cluster\ Shade = \sum_i \sum_j (i + j - \mu_x - \mu_y)^3 P(i, j) \quad \dots (3)$$

[数4]

$$\mu_x = \sum_i \sum_j i(P(i, j)) \quad \dots (4)$$

[数5]

$$\mu_y = \sum_i \sum_j j(P(i, j)) \quad \dots (5)$$

[請求項2]

前記化学組成が、質量%で、

Ti : 0.001～0.300%、

Nb : 0.001～0.100%、

V : 0.001～0.500%、

Cu : 0.01～2.00%、

Mo : 0.01～1.00%、

Ni : 0.02～2.00%、

B : 0.0001～0.0100%、

Ca : 0.0005～0.0200%、

Mg : 0.0005～0.0200%、

REM : 0.0005～0.1000%、

Bi : 0.0005～0.0200%、

A s : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 0 0 %、

Z r : 0 . 0 1 ~ 1 . 0 0 %、

C o : 0 . 0 1 ~ 1 . 0 0 %、

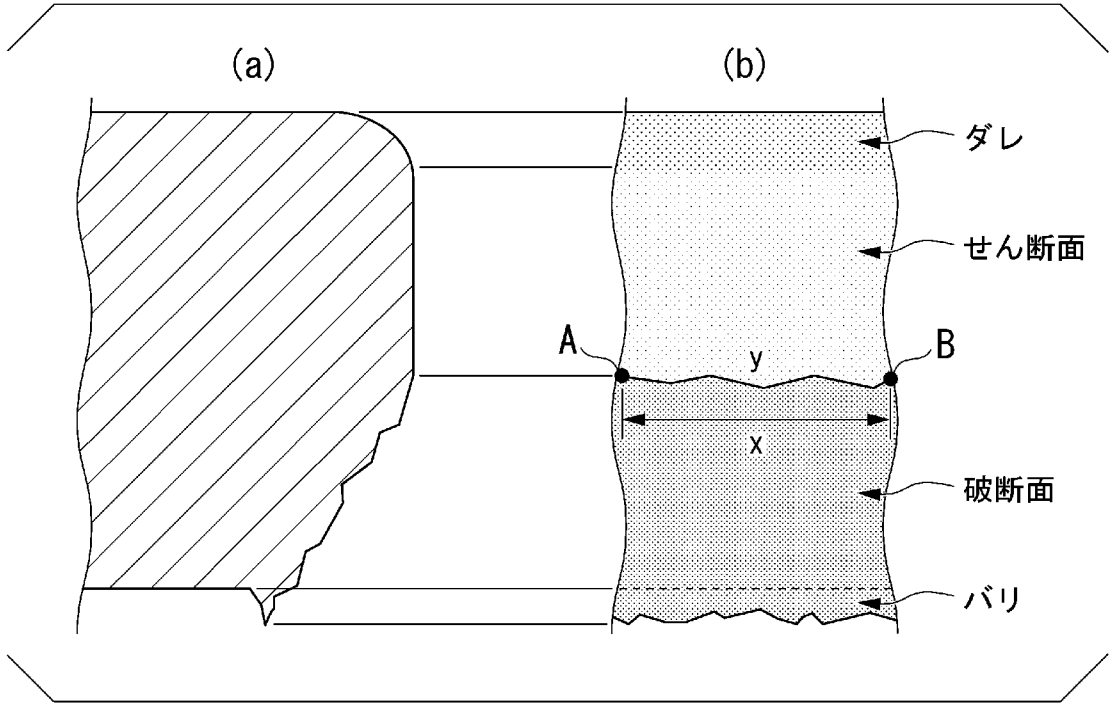
Z n : 0 . 0 1 ~ 1 . 0 0 %、

W : 0 . 0 1 ~ 1 . 0 0 %、 および

S n : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 %

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 に記載の熱延鋼板。

[図1]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/031972

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**C22C 38/00**(2006.01)i; **C21D 8/02**(2006.01)i; **C21D 9/46**(2006.01)i; **C22C 38/58**(2006.01)i

FI: C22C38/00 301W; C22C38/58; C21D8/02 A; C21D9/46 T

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22C38/00-38/00; C21D8/02; C21D9/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2022/044492 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 03 March 2022 (2022-03-03) claims	1-2
A	JP 2015-196891 A (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 09 November 2015 (2015-11-09) claims	1-2
A	JP 4-79722 B2 (HITACHI, LTD.) 16 December 1992 (1992-12-16)	1-2
P, A	WO 2023/063014 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 20 April 2023 (2023-04-20) claims	1-2



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

09 November 2023

Date of mailing of the international search report

21 November 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/031972

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2022/044492	A1	03 March 2022	EP	4180545	A1	
				claims			
				CN	115943224	A	
JP	2015-196891	A	09 November 2015	(Family: none)			
JP	4-79722	B2	16 December 1992	(Family: none)			
WO	2023/063014	A1	20 April 2023	(Family: none)			

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C22C 38/00(2006.01)i; C21D 8/02(2006.01)i; C21D 9/46(2006.01)i; C22C 38/58(2006.01)i FI: C22C38/00 301W; C22C38/58; C21D8/02 A; C21D9/46 T										
B. 調査を行った分野										
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） C22C38/00-38/00; C21D8/02; C21D9/46										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2023年									
日本国実用新案登録公報	1996-2023年									
日本国登録実用新案公報	1994-2023年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
A	WO 2022/044492 A1（日本製鉄株式会社）03.03.2022（2022-03-03） 請求の範囲	1-2								
A	JP 2015-196891 A（新日鐵住金株式会社）09.11.2015（2015-11-09） 特許請求の範囲	1-2								
A	JP 4-79722 B2（株式会社日立製作所）16.12.1992（1992-12-16）	1-2								
P, A	WO 2023/063014 A1（日本製鉄株式会社）20.04.2023（2023-04-20） 請求の範囲	1-2								
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 </td> <td> “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 09.11.2023	国際調査報告の発送日 21.11.2023									
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 鈴木 毅 4K 9154 電話番号 03-3581-1101 内線 3435									

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/031972

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2022/044492	A1	03.03.2022	EP	4180545	A1	
				Claims			
				CN	115943224	A	
JP	2015-196891	A	09.11.2015	(ファミリーなし)			
JP	4-79722	B2	16.12.1992	(ファミリーなし)			
WO	2023/063014	A1	20.04.2023	(ファミリーなし)			