

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公 開 特 許 公 報(A)

(11)特許出願公開番号  
特開2026-19467  
(P2026-19467A)

(43)公開日  
令和8年2月5日(2026. 2. 5)

|                                      |                             |            |         |                   |         |             |  |  |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------|---------|-------------------|---------|-------------|--|--|
| (51)Int.Cl.                          |                             |            | F I     |                   |         | テーマコード (参考) |  |  |
| C 2 2 C                              | 14/00                       | (2006. 01) | C 2 2 C | 14/00             | Z       |             |  |  |
| C 2 2 F                              | 1/00                        | (2006. 01) | C 2 2 F | 1/00              | 6 0 1   |             |  |  |
| C 2 2 F                              | 1/18                        | (2006. 01) | C 2 2 F | 1/00              | 6 0 4   |             |  |  |
|                                      |                             |            | C 2 2 F | 1/00              | 6 2 3   |             |  |  |
|                                      |                             |            | C 2 2 F | 1/00              | 6 3 0 A |             |  |  |
| 審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 19 頁) 最終頁に続く |                             |            |         |                   |         |             |  |  |
| (21)出願番号                             | 特願2024-121042(P2024-121042) |            | (71)出願人 | 000006655         |         |             |  |  |
| (22)出願日                              | 令和6年7月26日(2024. 7. 26)      |            |         | 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 |         |             |  |  |
|                                      |                             |            | (74)代理人 | 100149548         |         |             |  |  |
|                                      |                             |            |         | 弁理士 松沼 泰史         |         |             |  |  |
|                                      |                             |            | (74)代理人 | 100140774         |         |             |  |  |
|                                      |                             |            |         | 弁理士 大浪 一徳         |         |             |  |  |
|                                      |                             |            | (74)代理人 | 100134359         |         |             |  |  |
|                                      |                             |            |         | 弁理士 勝俣 智夫         |         |             |  |  |
|                                      |                             |            | (74)代理人 | 100188592         |         |             |  |  |
|                                      |                             |            |         | 弁理士 山口 洋          |         |             |  |  |
|                                      |                             |            | (74)代理人 | 100217249         |         |             |  |  |
|                                      |                             |            |         | 弁理士 堀田 耕一郎        |         |             |  |  |
|                                      |                             |            | (74)代理人 | 100221279         |         |             |  |  |
|                                      |                             |            |         | 弁理士 山口 健吾         |         |             |  |  |
| 最終頁に続く                               |                             |            |         |                   |         |             |  |  |

(54)【発明の名称】チタン合金板および自動車用排気系部品

(57)【要約】

【課題】高温強度および成形性に優れたチタン合金板を提供する。

【解決手段】質量％で、Cu：0.5～2.0％、Fe：0.010～0.045％、Nb：0～1.0％、O：0.03～0.10％、N：0.08％以下、C：0.05％以下、H：0.015％以下、残部：Ti及び不純物、であり、板厚方向に平行な断面におけるα相の平均結晶粒径が3～50μmであり、α相のうち、c軸と板厚方向とがなす角度が60°～90°の範囲内であるα相の面積率が25％未満であるとともに、板厚方向からの(0001)極点図において、板厚方向とのなす角が25～45°の範囲における(0001)面の最大集積度が4.5以上であるチタン合金板を採用する。

【選択図】なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

質量 % で、

C u : 0 . 5 ~ 2 . 0 % 、

F e : 0 . 0 1 0 ~ 0 . 0 4 5 % 、

N b : 0 ~ 1 . 0 % 、

O : 0 . 0 3 ~ 0 . 1 0 % 、

N : 0 . 0 8 % 以下、

C : 0 . 0 5 % 以下、

H : 0 . 0 1 5 % 以下、

10

残部 : T i 及び不純物、であり、

板厚方向に平行な断面における  $\alpha$  相の平均結晶粒径が  $3 \sim 50 \mu\text{m}$  であり、

前記  $\alpha$  相のうち、 $c$  軸と板厚方向とがなす角度が  $60^\circ \sim 90^\circ$  の範囲内である  $\alpha$  相の面積率が 25 % 未満であるとともに、

板厚方向からの  $(0001)$  極点図において、板厚方向とのなす角が  $25 \sim 45^\circ$  の範囲における  $(0001)$  面の最大集積度が 4 . 5 以上であるチタン合金板。

## 【請求項 2】

板厚方向に平行な断面における、前記  $\alpha$  相以外の第二相の面積率が 0 . 1 % 以上、3 . 5 % 以下である、請求項 1 に記載のチタン合金板。

## 【請求項 3】

20

板厚方向からの  $(0001)$  極点図において、板厚方向とのなす角が  $25 \sim 45^\circ$  の範囲、かつ、圧延方向とのなす角が  $-10^\circ \sim 10^\circ$  の範囲における  $(0001)$  面の最大集積度が 4 . 5 以上である、請求項 1 に記載のチタン合金板。

## 【請求項 4】

下記式 ( 1 ) を満足する、請求項 1 に記載のチタン合金板。

$$6.5 < [\% \text{Nb}] + 2.5 \times [\% \text{Cu}] + 1.5 \times [\% \text{Fe}] + 4.5 \times [\% \text{O}] + 1.2 \times D^{-0.5} < 14.5 \quad \dots (1)$$

ただし、式 ( 1 ) における  $[\% \text{Nb}]$ 、 $[\% \text{Cu}]$ 、 $[\% \text{Fe}]$  および  $[\% \text{O}]$  はそれぞれ、前記チタン合金板に含まれる Nb、Cu、Fe および O の含有量 (質量 %) であり、D は前記  $\alpha$  相の平均結晶粒径 (  $\mu\text{m}$  ) である。

30

## 【請求項 5】

チタン合金板よりなる自動車用排気系部品であって、

前記チタン合金板は、

質量 % で、

C u : 0 . 5 ~ 2 . 0 % 、

F e : 0 . 0 1 0 ~ 0 . 0 4 5 % 、

N b : 0 ~ 1 . 0 % 、

O : 0 . 0 3 ~ 0 . 1 0 % 、

N : 0 . 0 8 % 以下、

C : 0 . 0 5 % 以下、

H : 0 . 0 1 5 % 以下、

40

残部 : T i 及び不純物、であり、

板厚方向に平行な断面における  $\alpha$  相の平均結晶粒径が  $3 \sim 50 \mu\text{m}$  であり、

前記  $\alpha$  相のうち、 $c$  軸と板厚方向とがなす角度が  $60^\circ \sim 90^\circ$  の範囲内である  $\alpha$  相の面積率が 25 % 未満であるとともに、

板厚方向からの  $(0001)$  極点図において、板厚方向とのなす角が  $25 \sim 45^\circ$  の範囲、かつ、 $(0001)$  面の最大集積度が 4 . 5 以上である集合組織を有する、自動車用排気系部品。

## 【請求項 6】

板厚方向に平行な断面における、前記  $\alpha$  相以外の第二相の面積率が 0 . 1 % 以上、3 .

50

5 % 以下である、請求項 5 に記載の自動車用排気系部品。

【請求項 7】

下記式 ( 1 ) を満足する、請求項 5 に記載の自動車用排気系部品。

$$6.5 < [\%Nb] + 2.5 \times [\%Cu] + 15 \times [\%Fe] + 45 \times [\%O] + 12 \times D - 0.5 < 14.5 \quad \dots (1)$$

ただし、式 ( 1 ) における  $[\%Nb]$ 、 $[\%Cu]$ 、 $[\%Fe]$  および  $[\%O]$  はそれぞれ、前記チタン合金板に含まれる Nb、Cu、Fe および O の含有量 ( 質量 % ) であり、D は前記  $\alpha$  相の平均結晶粒径 (  $\mu m$  ) である。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、チタン合金板および自動車用排気系部品に関する。

【背景技術】

【0002】

二輪車および四輪車 ( 以下、自動車という ) の排気系は、エキゾーストマニフォールド、エキゾーストパイプ、触媒マフラー、マフラー ( プリマフラーまたはサイレンサー ( メインマフラー ) ) 等の排気系部品によって構成されており、高温の排気ガスに耐えるべく、また複雑な形状に対応すべく、耐食性、高温強度、加工性等に優れたステンレス鋼が多用されてきた。

【0003】

20

しかし、近年ではステンレス鋼を凌ぐ耐食性を有し、軽量で加工性にも優れ、熱膨張率が小さく熱疲労特性にも優れ、さらに独特の色や肌合いなどの意匠性に優れる純チタンが、一部の自動車の排気系部品として使用されている。

【0004】

自動車の排気系部品は、比較的高温の排気ガスに曝されることから、排気系部品の素材としてのチタン板には、600 ~ 700 での高温強度に優れることが求められている。

【0005】

また、自動車の排気系部品は、部品形状自体が複雑であることから、排気系部品の素材としてのチタン板には、プレス加工等の冷間加工によって部品形状に成形する際の成形性に優れることが求められている。

30

【0006】

特許文献 1 には、質量 % で、0.3 ~ 1.8 % の Cu、0.18 % 以下の酸素、0.30 % 以下の Fe、残部 Ti および 0.3 % 未満の不純物元素からなる冷間加工性に優れた耐熱チタン合金板が記載されている。

【0007】

特許文献 2 には、Si を 0.15 ~ 2 質量 % 含むとともに、Al を 0.30 質量 % 未満に規制し、残部チタンおよび不可避的不純物からなる耐高温酸化性に優れたチタン合金が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0008】

【特許文献 1】特開 2005 - 298970 号公報

【特許文献 2】特開 2007 - 270199 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

最近では、高温強度および冷間での成形性により優れたチタン合金板が求められている。そこで本発明は、高温強度および成形性に優れたチタン合金板および自動車用排気系部品を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

50

## 【 0 0 1 0 】

上記課題を解決するため、以下の構成を採用する。

[ 1 ] 質量%で、

C u : 0 . 5 ~ 2 . 0 %、

F e : 0 . 0 1 0 ~ 0 . 0 4 5 %、

N b : 0 ~ 1 . 0 %、

O : 0 . 0 3 ~ 0 . 1 0 %、

N : 0 . 0 8 % 以下、

C : 0 . 0 5 % 以下、

H : 0 . 0 1 5 % 以下、

10

残部 : T i 及び不純物、であり、

板厚方向に平行な断面における  $\alpha$  相の平均結晶粒径が  $3 \sim 50 \mu\text{m}$  であり、

前記  $\alpha$  相のうち、 $c$  軸と板厚方向とがなす角度が  $60^\circ \sim 90^\circ$  の範囲内である  $\alpha$  相の面積率が 25 % 未満であるとともに、

板厚方向からの ( 0 0 0 1 ) 極点図において、板厚方向とのなす角が  $25 \sim 45^\circ$  の範囲における ( 0 0 0 1 ) 面の最大集積度が 4 . 5 以上であるチタン合金板。

[ 2 ] 板厚方向に平行な断面における、前記  $\alpha$  相以外の第二相の面積率が 0 . 1 % 以上、3 . 5 % 以下である、[ 1 ] に記載のチタン合金板。

[ 3 ] 板厚方向からの ( 0 0 0 1 ) 極点図において、板厚方向とのなす角が  $25 \sim 45^\circ$  の範囲、かつ、圧延方向とのなす角が  $-10^\circ \sim 10^\circ$  の範囲における ( 0 0 0 1 ) 面の最大集積度が 4 . 5 以上である、[ 1 ] に記載のチタン合金板。

20

[ 4 ] 下記式 ( 1 ) を満足する、[ 1 ] に記載のチタン合金板。

$$6.5 < [\% \text{Nb}] + 2.5 \times [\% \text{Cu}] + 1.5 \times [\% \text{Fe}] + 4.5 \times [\% \text{O}] + 1.2 \times D^{-0.5} < 14.5 \quad \dots (1)$$

ただし、式 ( 1 ) における  $[\% \text{Nb}]$ 、 $[\% \text{Cu}]$ 、 $[\% \text{Fe}]$  および  $[\% \text{O}]$  はそれぞれ、前記チタン合金板に含まれる Nb、Cu、Fe および O の含有量 ( 質量 % ) であり、D は前記  $\alpha$  相の平均結晶粒径 (  $\mu\text{m}$  ) である。

[ 5 ] チタン合金板よりなる自動車用排気系部品であって、

前記チタン合金板は、

質量%で、

30

C u : 0 . 5 ~ 2 . 0 %、

F e : 0 . 0 1 0 ~ 0 . 0 4 5 %、

N b : 0 ~ 1 . 0 %、

O : 0 . 0 3 ~ 0 . 1 0 %、

N : 0 . 0 8 % 以下、

C : 0 . 0 5 % 以下、

H : 0 . 0 1 5 % 以下、

残部 : T i 及び不純物、であり、

板厚方向に平行な断面における  $\alpha$  相の平均結晶粒径が  $3 \sim 50 \mu\text{m}$  であり、

前記  $\alpha$  相のうち、 $c$  軸と板厚方向とがなす角度が  $60^\circ \sim 90^\circ$  の範囲内である  $\alpha$  相の面積率が 25 % 未満であるとともに、

40

板厚方向からの ( 0 0 0 1 ) 極点図において、板厚方向とのなす角が  $25 \sim 45^\circ$  の範囲、かつ、( 0 0 0 1 ) 面の最大集積度が 4 . 5 以上である集合組織を有する、自動車用排気系部品。

[ 6 ] 板厚方向に平行な断面における、前記  $\alpha$  相以外の第二相の面積率が 0 . 1 % 以上、3 . 5 % 以下である、[ 5 ] に記載の自動車用排気系部品。

[ 7 ] 下記式 ( 1 ) を満足する、[ 5 ] に記載の自動車用排気系部品。

$$6.5 < [\% \text{Nb}] + 2.5 \times [\% \text{Cu}] + 1.5 \times [\% \text{Fe}] + 4.5 \times [\% \text{O}] + 1.2 \times D^{-0.5} < 14.5 \quad \dots (1)$$

ただし、式 ( 1 ) における  $[\% \text{Nb}]$ 、 $[\% \text{Cu}]$ 、 $[\% \text{Fe}]$  および  $[\% \text{O}]$  はそれ

50

ぞれ、前記チタン合金板に含まれるNb、Cu、FeおよびOの含有量（質量％）であり、Dは前記α相の平均結晶粒径（μm）である。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、高温強度および成形性に優れたチタン合金板および自動車用排気系部品を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施形態であるチタン合金板の板厚方向からの（0001）極点図。

【発明を実施するための形態】

【0013】

高温強度および成形性に優れたチタン合金板を得るために本発明者らが鋭意検討したところ、チタンに一定量のCuを含有させると、自動車用排気系部品などが使用される温度域の500～700において高温強度を著しく向上できることを見いだした。また、チタン合金板に対して圧延条件をより緻密に制御した熱間圧延および冷間圧延を実施することで、集合組織を最適化して、チタン合金板の成形性を向上できることを見出した。

【0014】

チタン合金板の集合組織と成形性との関係を詳細に述べる。純チタンの場合、熱間圧延によって、α相のc軸が圧延方向（RD方向）と直交する板幅方向（TD方向）に傾き、板厚方向（ND方向）に対して35°傾斜した付近にc軸が集積するようになり、いわゆるSplit-TDと呼ばれる集合組織が形成され、これにより成形性が向上する。

【0015】

一方、高温強度を向上させる目的で、β安定化元素であるCuを含有させたチタン合金の場合、T-Textureと呼ばれる集合組織が形成され、c軸が板幅方向にほぼ平行に配向したα相の割合が増加する。T-Textureを顕著に持つチタン合金は、成形性が著しく低下する。

【0016】

そこで、本発明では、Cuを含有するチタン合金において、T-Textureを低減させつつ、板厚方向に対して35°傾斜した付近にc軸を配向させて集積させることにより、高温強度と成形性の両立を図ることを見出した。

【0017】

以下、本発明の実施形態であるチタン合金板及び自動車用排気系部品について説明する。

【0018】

本実施形態のチタン合金板は、質量％で、Cu：0.5～2.0％、Fe：0.010～0.045％、Nb：0～1.0％、O：0.03～0.10％、N：0.08％以下、C：0.05％以下、H：0.015％以下、残部：Ti及び不純物、であり、板厚方向に平行な断面におけるα相の平均結晶粒径が3～50μmであり、α相のうち、c軸と板厚方向とがなす角度が60～90°の範囲内であるα相の面積率が25％未満であるとともに、板厚方向からの（0001）極点図において、板厚方向とのなす角が25～45°の範囲、かつ、（0001）面の最大集積度が4.5以上である集合組織を有する、チタン合金板である。

本実施形態のチタン合金板は、板厚方向に平行な断面における、前記α相以外の第二相の面積率が0.1％以上、3.5％以下であることが好ましい。

本実施形態のチタン合金板は、板厚方向からの（0001）極点図において、板厚方向とのなす角が25～45°の範囲であり、圧延方向とのなす角が-10°～10°の範囲であり、かつ、（0001）面の最大集積度が4.5以上である集合組織を有することが好ましい。

本実施形態のチタン合金板は、下記式（1）を満足することが好ましい。

【0019】

$$6.5 < [\% \text{Nb}] + 2.5 \times [\% \text{Cu}] + 15 \times [\% \text{Fe}] + 45 \times [\% \text{O}] + 12 \times D^{-0.5} < 14.5 \quad \dots (1)$$

ただし、式(1)における $[\% \text{Nb}]$ 、 $[\% \text{Cu}]$ 、 $[\% \text{Fe}]$ および $[\% \text{O}]$ はそれぞれ、前記チタン合金板に含まれるNb、Cu、FeおよびOの含有量(質量%)であり、Dは前記α相の平均結晶粒径(μm)である。

#### 【0020】

本実施形態において高温強度に優れるとは、700 °Cでの0.2%耐力が20MPa以上であることをいう。

本実施形態において成形性に優れるとは、所定の形状のチタン合金板に対して所定の形状のパンチおよびダイを用いて室温で張出成形を行った際に、所定の成形高さ以上になるまで割れを生じさせずに張出成形が可能であることをいう。

10

また、本実施形態において室温とは、10～35 °Cの温度範囲をいう。

#### 【0021】

##### <化学成分>

本実施形態のチタン合金板の化学成分について説明する。

#### 【0022】

Cu: 0.5～2.0%

Cuは、高温で固溶強化能に優れた元素である一方で、室温では双晶を抑制しないことから、高温強度と成形性を両立するのに好ましい元素である。本実施形態において必要とする高温強度を得るためには、Cuを0.5%以上含有する必要があることから、これを下限とする。好ましくは、0.6%以上であり、さらに好ましくは0.7%以上である。一方で、Cuが過剰になると、特にα相の固溶限以上になると、 $\text{Ti}_2\text{Cu}$ の析出量が多くなり、平均結晶粒径を十分に大きくすることができず、高温強度、成形性のいずれも低下してしまう。そのため、上限を2.0%以下とする。好ましくは1.9%以下であり、さらに好ましくは1.8%以下である。

20

#### 【0023】

Fe: 0.010～0.045%

Feは、β安定化元素であり、かつ、高強度化もできるため有用な元素である。一方で、α相への固溶限が非常に小さいために、Fe量が過剰になるとβ相が析出して、第二相であるβ相の量が増え、β相に濃化しやすい元素であるCuがそこに集中的に濃化し、高温強度の向上に必要なα相中への固溶量が低下し、高温強度や成形性を低下させる。よって、Feの範囲は0.010%～0.045%の範囲である必要がある。好ましくは0.015～0.040%である。

30

#### 【0024】

O: 0.03～0.10%

Oは、固溶強化によって強度を高めることができる元素である一方、O量が過剰になると双晶変形を抑制し、成形性を著しく低下させる。Oが0.03%以上あれば、室温での強度も十分に確保できることからこれを下限とする。一方で、Oを0.10%超含有させると成形性が著しく低下するため、これを上限とする。好ましくは0.08%以下である。

40

#### 【0025】

Nb: 0～1.0%

Nbは、全率固溶型のβ安定化元素であるが、α相への固溶量が比較的大きい。そのため、室温～高温での固溶強化が見込める。加えて、Nbを含有させることで高温、特に600～800 °Cでの耐酸化性を向上させることが可能である。そのため、高温酸化が求められる場合にはNbを含有させてもよい。好ましいNb量は0.1%以上、より好ましくは0.3%以上、更に好ましくは0.4%以上である。一方、Nbを過剰に含有させると、固溶限が大きいNbであってもCuやFeなどの他のβ安定化元素との合計量が大きくなり、β相の生成量が多くなってしまう。そうすると高温強度の低下を生じるため、上限は1.0%以下とする。好ましくは0.9%以下であり、さらに好ましくは0.8%以下

50

である。

【0026】

N：0.08%以下

C：0.05%以下

H：0.015%以下

NおよびCは、チタン合金板の延性や加工性を低下させる元素である。また、Hは、脆化を引き起こす元素である、従って、N含有量を0.08%以下、C含有量を0.05%以下、H含有量を0.015%以下に制限する。N含有量、C含有量およびH含有量は少ない方が好ましく、0%でもよいが、N、C及びHは原料のスポンジチタン、スクラップ、合金元素原料から不純物として混入することがあるので、N含有量、C含有量およびH含有量をそれぞれ、0.0001%以上としてもよい。

10

【0027】

残部：Ti及び不純物

本実施形態に係るチタン合金板の化学組成は、上記を含有し、残部がTi及び不純物である。不純物としては、例えば原料として用いるスクラップに由来する金属元素がある。具体的は、原料としてスクラップの利用を促進すると、上述の元素(Cu、Fe、Nb、O、C、N、H)に加えて、これらの元素以外の元素が混入する。厳格な管理をすればこれらの元素の混入は防ぐことができるものの、その処理コストが嵩む。そのため、本実施形態に係るチタン合金板では、スクラップに由来する元素の混入(不純物としての含有)を、本実施形態に係るチタン合金板の効果を阻害しない範囲で、許容する。スクラップに由来する元素としては、例えば、Si、Cr、Ni、Mo、V、Sn、Co、Zr、Mn、Ta、W、Hf、Pd、Ru、Bが例示される。これらの元素が含有される場合、その含有量は、例えば、それぞれ0.1%以下であり、総量で0.3%以下であれば問題ない。

20

【0028】

<平均結晶粒径：3～50μm>

Ti合金板のα相の平均結晶粒径が大きいほど、成形性や高温強度が高くなるが、室温～500℃未満の中温域での強度が低下する。そのため、化学成分と共に、α相の結晶粒径を適切に制御する必要がある。α相の平均結晶粒径が3μm未満では成形性が極端に低くなることから、平均結晶粒径は3μm以上とする。好ましくは5μm以上である。一方で、α相の平均結晶粒径が50μmを超えると、室温での延性は確保できるものの、板厚によっては結晶粒の数が少なくなり、成形性が低下する場合がある。また、平均結晶粒径が大きくなりすぎると、必要とする室温での強度を確保できない場合がある。そのため、平均結晶粒径は50μm以下とする。好ましくは40μm以下であり、さらに好ましくは30μm以下である。平均結晶粒径は、板厚方向に平行な断面における平均結晶粒径とする。板厚方向に平行な断面には、板長手方向(圧延方向に対応する方向)に平行な断面または板幅方向に平行な断面が包含されるが、本実施形態ではどちらの断面でもよく、好ましくは、板長手方向に平行な断面である。

30

【0029】

<集合組織>

チタン合金板を自動車用排気系部品の素材として使用する際には、チタン合金板を部品形状に成形する必要がある。そのためには、チタン合金板には室温での成形性に優れる必要がある。チタン合金板の成形性を高めるためには、以下のような集合組織を有する必要がある。

40

【0030】

すなわち、本実施形態のチタン合金板は、α相のうち、c軸と板厚方向とがなす角度が60°～90°の範囲内であるα相の面積率が25%未満であるとともに、板厚方向からの(0001)極点図において、板厚方向とのなす角が25～45°の範囲における(0001)面の最大集積度が4.5以上であるSplit-TDと呼ばれる集合組織を有する。図1に、本実施形態のチタン合金板の板厚方向からの(0001)極点図を示す。

50

## 【0031】

[ c 軸と板厚方向とがなす角度が  $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$  の範囲内である  $\alpha$  相の面積率：25%未満]

h c p 構造の  $\alpha$  相を有するチタンでは、h c p の c 軸方向の変形が非常に乏しい。そのため、 $\alpha$  相の c 軸方向の制御が重要となる。熱間圧延において、チタンの  $\alpha$  相の c 軸は、T 方向（板幅方向）に平行な方向から、板厚方向に平行な方向の間において、Split した幅広の範囲に配向する。このうち、c 軸が T 方向と平行となる T - texture は、熱間圧延における圧延率、冷間圧延における圧延率などを適切に制御しない場合に、多く残存することとなる。この T - texture は、チタン合金板のヤング率を高くする一方で、T 方向の成形性を著しく低下させる。

10

## 【0032】

高い成形性を確保するためには、この T - texture をできるだけ少なくする必要がある。c 軸と板厚方向とのなす角度が  $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$  の範囲内である  $\alpha$  相の面積率が25%未満であると、十分に T - texture の割合が小さくなり、高い成形性を確保できる。好ましくは22%以下であり、さらに好ましくは20%以下である。

## 【0033】

[ 板厚方向とのなす角が  $25 \sim 45^{\circ}$  の範囲における (0001) 面の最大集積度が4.5以上である Split - TD 型の texture ]

上述したように、高い成形性を確保する上では T - texture の集合組織の割合を減らすことが重要だが、Split - TD - texture が最も成形性が高いため、T - texture 以外の texture でもこの方位から大きくばらつくほど成形性は悪くなる。そのため、図1に示すように、Split - TD - texture を形成させることと、最大集積度を高めることが重要となる。特に、チタン合金では、純チタンに比べて T - texture が発達し易い分、冷間圧延やその後の焼鈍を適切に制御することが、最大集積度を発達させるために非常に重要である。

20

## 【0034】

本実施形態では、EBSD測定によって求められた板厚方向からの(0001)極点図において、板厚方向とのなす角が  $25 \sim 45^{\circ}$  の範囲、かつ、圧延方向とのなす角が  $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$  の範囲に最大集積度部が存在し、かつ、その最大集積度が4.5以上であれば十分は成形性を確保することが可能である。好ましくは5.0以上である。一方、高ければ成形性が良くなるため上限は定めないが、実質的な上限は30以下である。

30

## 【0035】

< 第二相の面積率 >

本実施形態のチタン合金板の組織は、 $\alpha$  相と、第二相からなる。第二相は、Ti<sub>2</sub>Cu または  $\beta$  相のいずれか一方または両方である。 $\alpha$  相に比べて  $\beta$  相は高温強度が低いため、高温強度を高めるために  $\beta$  相を極力少なくする。一方、組織が  $\alpha$  相の単相になると、チタン合金板を製造する際の焼鈍時にピン止め効果が発揮されず、必要以上に  $\alpha$  相が粗粒化して成形性が低下する場合がある。さらに、第二相の存在割合が少なすぎると、 $\alpha$  相の粒成長が不均一になって混粒となり、成形性を低下させるおそれがある。そのため、第二相の面積割合は0.1%以上、3.5%以下にすることが望ましい。好ましくは3.0%以下である。第二相の面積率は、板厚方向に平行な断面における面積率である。平均結晶粒径の場合と同様、板厚方向に平行な断面には、板長手方向（圧延方向に対応する方向）に平行な断面または板幅方向に平行な断面が包含されるが、本実施形態ではどちらの断面でもよく、好ましくは、板長手方向に平行な断面である。

40

## 【0036】

< 式(1) >

強度および延性などの機械特性は、化学成分、 $\alpha$  相の平均結晶粒径などで変化するため、これらを系統的に制御する必要がある。本実施形態では下記の式(1)の中辺の数式の値が6.5超、14.5未満の範囲内であれば、強度および延性などの機械特性をより向上させ、更には成形性をより高めることができる。

50

## 【 0 0 3 7 】

$$6.5 < [\% \text{Nb}] + 2.5 \times [\% \text{Cu}] + 1.5 \times [\% \text{Fe}] + 4.5 \times [\% \text{O}] + 1.2 \times D^{-0.5} < 14.5 \quad \dots (1)$$

## 【 0 0 3 8 】

ただし、式 ( 1 ) における [ % N b ]、[ % C u ]、[ % F e ] および [ % O ] はそれぞれ、前記チタン合金板に含まれる N b、C u、F e および O の含有量 ( 質量 % ) であり、D は  $\alpha$  相の平均結晶粒径 (  $\mu\text{m}$  ) である。

## 【 0 0 3 9 】

式 ( 1 ) の中辺の数式の値が 6 . 5 超であれば、高温強度および成形性をより高めることができる。好ましくは 7 . 0 以上である。一方、式 ( 1 ) の中辺の数式の値が 1 4 . 5 未満であれば、室温での強度が過剰に大きくなりすぎずに成形性を低下させることがない。好ましくは 1 4 . 0 以下である。

10

## 【 0 0 4 0 】

本実施形態のチタン合金板は、成形性を確保しつつ、室温領域、中温領域並びに 5 0 0 ~ 7 0 0 の高温領域までの温度域において強度を確保することができる。以下、成形性、室温での強度、並びに高温強度について説明する。

## 【 0 0 4 1 】

## &lt; 成形性 &gt;

本実施形態のチタン合金板は、高い成形性、特に圧延方向に直交する板幅方向の成形性が高められる。具体的には、板幅方向 9 0 m m、板長手方向 ( 圧延方向 ) 3 0 m m の長方形の試験片と、板幅方向 9 0 m m、板長手方向 ( 圧延方向 ) 6 0 m m の長方形の試験片の 2 つの試験片を作製する。次いで、先端形状が直径 4 0 m m の半球状のポンチと、直径 4 4 m m の円形の凹部を有するダイスとの間に、試験片を配置し、内径 4 0 . 5 m m の貫通孔を有するしわ押さえによって、試験片に 7 t o n のしわ押さえ力を付与する。そして、ポンチ上昇速度 2 0 m m / m i n とし、潤滑材としてポリシート ( ナフロンテープ ) および高粘性油 ( # 6 6 0 , 日本工作油 ( 株 ) ) を用いて、室温において張出成形を行い、破断する最大張出高さを測定する。最大張出高さが 2 0 m m 以上であれば、良好な板幅方向の成形性を有すると判断される。

20

## 【 0 0 4 2 】

## &lt; 室温での強度及び延性 &gt;

本実施形態のチタン合金板は、構造材料であるため、室温での強度は高い方がよい。従って、圧延方向の 0 . 2 % 耐力が 2 2 0 M P a 以上であるとよい。一方、0 . 2 % 耐力が 4 0 0 M P a を超えると、室温での成形加工の際に、設備への負荷が高すぎるため好ましくない。よって、チタン合金板の圧延方向の 0 . 2 % 耐力は、2 2 0 M P a 以上、4 0 0 M P a 以下とする。0 . 2 % 耐力の上限は、好ましくは 3 8 0 M P a 以下であり、さらに好ましくは 3 7 0 M P a 以下である。

30

## 【 0 0 4 3 】

室温での延性は、2 5 % 以上であれば、引張変形のような加工に対しても十分な加工性を確保できることから、これを下限とする。好ましくは 2 7 % 以上である。一方、上限は定めないが、実質的な上限は 4 5 % 以下である。

40

## 【 0 0 4 4 】

## &lt; 高温強度 &gt;

本実施形態のチタン合金板は、高温強度が高いことが好ましい。特に、マフラーの用途などでは、排ガスによって高温にさらされる場合があり、そのような温度に耐えられるほどの十分な強度がある方が好ましい。具体的には、7 0 0 での 0 . 2 % 耐力が 2 0 M P a 以上であることが望ましい、より好ましくは 2 5 M P a 以上である。

## 【 0 0 4 5 】

## &lt; 平均結晶粒径の測定方法 &gt;

平均結晶粒径は、以下のようにして測定、算出することができる。具体的には、チタン合金板を板厚方向に平行に切断し、露出された断面を化学研磨する。電子線後方散乱回折

50

法；EBSD (Electron Back Scattering Diffraction Pattern) を用いて、露出させた断面の  $500 \sim 1000 \mu\text{m} \times 500 \sim 1000 \mu\text{m}$  の領域を、 $1 \mu\text{m}$  のステップで  $2 \sim 10$  視野程度測定する。結晶粒径については、EBSD により測定された  $5^\circ$  以上の方位差の境界を粒界とし、この粒界で囲まれた範囲を結晶粒とし、結晶粒の面積から円相当粒径 (面積  $A = \pi \times (\text{粒径 } D / 2)^2$ ) を求め、この個数基準の平均値を平均結晶粒径とする。

#### 【0046】

< 集合組織の測定方法 >

以下の方法で、c 軸と板厚方向とがなす角度が  $60^\circ \sim 90^\circ$  の範囲内である  $\alpha$  相の面積率および最大集積度を算出する。

10

#### 【0047】

$60^\circ \sim 90^\circ$  の範囲内である  $\alpha$  相の面積率については、チタン合金板を板厚方向に平行に切断し、露出された断面を化学研磨する。EBSD を用いて、露出させた断面の  $500 \sim 1000 \mu\text{m} \times 500 \sim 1000 \mu\text{m}$  の領域を、 $1 \mu\text{m}$  のステップで  $2 \sim 10$  視野程度測定する。その測定データについて、TSL ソリューションズ製の OIM Analysis ソフトウェアを用いて ND と c 軸のなす角が  $60^\circ$  以上、 $90^\circ$  以下である測定点データを抽出し、全体のデータ数で除した割合をその角度内の割合とする。

#### 【0048】

(0001) 極点図における特定の方位の集積度ピーク位置は、そのデータを TSL ソリューションズ製の OIM Analysis TM ソフトウェア (Ver. 8.1.0) を用い、球面調和関数法を用いた逆極点図の Texture 解析により算出する。この際の、最も等高線が高い位置が集積度のピーク位置であり、ピーク位置のうち最も集積度の大きな値を最大集積度とする。なお、(0001) 極点図における特定の方位の集積度は、その方位をもつ結晶粒の存在頻度が、完全にランダムな方位分布をもつ組織 (集積度 1) に対して、何倍であるかを示す。なお、上記では、幅方向中央位置での L 断面を観察表面としているが、チタン合金板の結晶方位は幅方向に均一に分布するので、任意の板幅位置における L 断面を観察表面としてもよい。

20

#### 【0049】

< 第二相の面積率の測定方法 >

チタン合金板の第二相の面積率は、SEM (Scanning Electron Microscopy) に付属の EPMA (Electron Probe Microanalyzer) (SEM/EPMA) により測定・算出する。具体的には、チタン合金板の板厚方向に平行な任意の断面に対し、鏡面研磨を行い、 $100 \sim 200$  倍の倍率で、表面から板厚の  $1/4$  の位置を中心として、断面の  $500 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$  の領域を、 $1 \sim 2 \mu\text{m}$  のステップで  $2 \sim 5$  視野程度測定し、Fe および Cu の濃度分布を測定する。Fe や Cu は  $\beta$  相もしくは  $\text{Ti}_2\text{Cu}$  部で濃化するので、各点のうち、Fe もしくは Cu 濃度が測定範囲の平均濃度よりも 1 質量% 以上高い点 (濃化部) を第二相と定義し、面積率を求める。

30

#### 【0050】

< 室温強度、延性、高温強度の測定方法 >

室温強度および延性は、以下の方法で測定する。試験片の長手方向と板長手方向が一致するように、JIS Z 2241:2022 に規定される 13B 号試験片をチタン合金板から採取する。そして、室温引張試験により、0.2% 耐力および全伸び (%) を測定する。ここで、ひずみ速度は、ひずみ量が 2% までは  $0.5\%/\text{min}$ 、ひずみ量が 2% を超えた後は  $30\%/\text{min}$  とする。得られた全伸びを延性とする。

40

#### 【0051】

700 での高温強度 (引張強さ) は、以下の方法で測定する。試験片の長手方向と板長手方向が一致するように、平行部幅  $10\text{mm}$ 、平行部長さ  $35\text{mm}$ 、平行部厚さが板厚ままで、掴み部を有する試験片をチタン合金板から採取する。そして、昇温速度を  $45/\text{min}$  として 700 まで昇温した後、試験片が十分に試験温度に達するように、試験

50

雰囲気中で10min保持する。その後、試験温度700、ひずみ速度7.5%/minの条件で引張試験を行い、700での高温強度を求める。

#### 【0052】

なお、チタン合金板の板長手方向は、チタン合金板の圧延方向を確認できる場合は、圧延方向を板長手方向とする。また、圧延方向を確認できない場合は、集合組織の計測の際に得られた(0001)極点図からRD方向を推定し、これを板長手方向とすることができる。

#### 【0053】

<自動車用排気系部品>

次に、本実施形態の自動車用排気系部品(以下、排気系部品という)について説明する

10

。本実施形態の排気系部品は、チタン合金板を成形加工することによって得られる。本実施形態の排気系部品は、チタン合金板と同様の化学成分、平均結晶粒径および集合組織を有する。

#### 【0054】

ただし、集合組織については、板厚方向からの(0001)極点図を測定した際に、Split-TDの集合組織が見られ、かつ、圧延方向とのなす角が $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$ の範囲に最大集積度4.5以上の最大集積度部が存在すればよい。チタン合金板の集合組織のように、最大集積度部が圧延方向とのなす角が $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$ の範囲に存在することが必ずしも明確でなくてもよく、この点はSplit-TDのtextureが観察されることで推認してもよい。この場合、Splitした2つの最大集積部の並ぶ方向を、板幅方向に相当する方向と推認できる。

20

#### 【0055】

排気系部品の平均結晶粒径、集合組織、第二相の面積率の測定方法は、チタン合金板における各種の測定方法に準じればよい。

#### 【0056】

<製造方法>

次に、本実施形態のチタン合金板の製造方法を説明する。

本実施形態のチタン合金板は、チタ合金素材を熱間圧延する熱間圧延工程、熱間圧延後のチタン合金板(以下、熱間圧延板という)を冷間圧延する冷間圧延工程、冷間圧延後のチタン合金板(以下、冷間圧延板という)を焼鈍する最終焼鈍工程によって製造することができる。熱間圧延工程と冷間圧延工程との間で、熱間圧延板を焼鈍する熱延板焼鈍工程を行ってもよく、最終焼鈍工程後に矯正および調質圧延工程を行ってもよい。以下、各工程について説明する。

30

#### 【0057】

<熱間圧延工程>

チタン材に対して、 $\beta$ 単相域や $\alpha + \beta$ 二相域の温度領域において一方向圧延を行うと、T-textureが強く発達することが知られている。一方、本実施形態では、狙いとする集合組織を発達させるために、すなわちT-textureをなるべく発達させないようにするために、冷間圧延工程の圧延条件を制御することはもちろん、冷間圧延工程以外の工程においてもT-textureの発達を抑制しつつ、Split-TD-textureを発達させる必要がある。そのため、本実施形態の熱間圧延は、以下のように制御する必要がある。

40

#### 【0058】

まず、加熱温度は、800以上、( $\beta$ 変態点+100)未満に制御する必要がある。 $(\beta$ 変態点+100)を超える温度まで加熱すると、圧延工程の大半が $\beta$ 相割合の多い領域で圧延されてしまい、T-textureが強く発達するため、その後の冷間圧延や焼鈍を制御してもT-textureを低減することができず、成形性が低下してしまう。そのため、加熱温度は( $\beta$ 変態点+100)未満である必要がある。一方で、加熱温度を800未満とした場合は、熱間圧延初期の素材の反力が大きくなり、更に圧延速

50

度が高速になった場合に加工発熱によってβ変態点近傍まで圧延中の素材が発熱してしまうことがある。そうすると、T - textureの発達を助長するおそれがある。そのため、加熱温度は800 以上とする。

【0059】

なお、β変態点は、チタン合金をβ相単相域から冷却した際にα相が生成し始める境界温度を意味する。β変態点は、状態図から取得することができる。状態図は、例えばCALPHAD (Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry) 法により取得することができる。具体的には、Thermo - Calc Software AB社の統合型熱力学計算システムであるThermo - Calcおよび所定のデータベース(TI3)を用いてCALPHAD法により、チタン合金の状態図を取得し、β変態点を算出することができる。

10

【0060】

本実施形態の熱間圧延工程では、圧延率の制御が重要である。圧延率が高いほど狙いとする集合組織を形成させることが可能となる。熱間圧延工程の圧延率が95%以上あれば、所望の集合組織が得られるようになる。よって、圧延率は95%以上とする。

【0061】

熱間圧延の終了後は、熱間圧延板の表面温度が300 以下になるまで冷却するとよい。冷却は、例えば水冷でよい。

【0062】

< 熱延板焼鈍工程 >

熱延板焼鈍は行ってもよく、行わなくてもよい。熱延板焼鈍を行わない場合は、板においてひずみを蓄積できるため、より集合組織を発達させることができる。一方で、熱延板焼鈍を行うと、第二相の大半を一度固溶させることができ、冷間圧延後の焼鈍時に均一にα相が形成するため、α相の平均結晶粒径が安定する。

20

【0063】

熱延板焼鈍を行う場合は、730 以上、830 以下、好ましくは820 以下の均熱温度で行うとよい。730 未満、もしくは、830 超では、Cuの固溶限が小さくなり、最終焼鈍と合わさって第二相の面積率が必要以上に大きくなる場合がある。さらに均熱温度が830 超では、β相の面積率が増えてしまい、β相がその後の冷却で変態した際に結晶方位が変化し、狙いの集合組織を形成させられない場合がある。

30

【0064】

熱延板焼鈍の均熱時間は、例えば、1 ~ 10 分間(60 ~ 600 秒間)がよい。

【0065】

< 冷間圧延工程 >

本実施形態では、冷間圧延をいかに制御するかが非常に重要である。上述したように、T - textureは熱間圧延により形成するが、熱間圧延のみの制御でT - textureを低減することは非常に難しい。そのため、冷間圧延の条件を制御する必要がある。

【0066】

具体的には、冷間圧延は、中間焼鈍を行わずに1回の冷間圧延を行う場合と、中間焼鈍を挟んで2回の冷間圧延を行う場合がある。冷間圧延は、一回あたり1パスで行ってもよく、一回あたり2パス以上で行ってもよい。

40

【0067】

冷間圧延における総圧下率は70%以上とする。中間焼鈍を行う場合は中間焼鈍後の2回目の冷間圧延の圧下率は60%以上である必要がある。総圧下率が70%未満だと、T - textureの残存量が多くなり、成形性が低下してしまう。また、総圧下率が70%以上であっても、中間焼鈍を行う場合の2回目の冷間圧延の圧下率が60%未満では、やはりT - textureが多く残存し、成形性が低下してしまう。そのため、上記の圧下率で冷間圧延工程を実施する必要がある。圧下率が高いほど集合組織は改善してT - textureが減るため、上限は特に定めないが、冷間圧延設備の特性上、92%以下が実質的な上限になる。

50

## 【 0 0 6 8 】

## &lt; 中間焼鈍 &gt;

冷間圧延の途中に実施する場合がある中間焼鈍は、行ってもよく、行わなくてもよい。中間焼鈍を行わない方が冷延率をより高めることが可能となり集合組織がより改善するため好ましい。ただし、中間焼鈍を実施したとしても、上記範囲で熱間圧延および冷間圧延を実施すれば、狙いとする集合組織は得られる。

## 【 0 0 6 9 】

中間焼鈍の条件は、特に制限されず。最終焼鈍と同じ条件でもよい。

## 【 0 0 7 0 】

## &lt; 最終焼鈍工程 &gt;

最終焼鈍を行うことで、 $\alpha$ 相中の固溶Cu量を高めて、高温強度を改善する。

最終焼鈍工程は、真空バッチ式熱処理炉か、連続焼鈍設備によって焼鈍を行う。どちらの場合でも、焼鈍は非酸化性雰囲気にて行う。

## 【 0 0 7 1 】

真空バッチ式熱処理炉を用いる場合は、コイル状に巻いた冷間圧延板を炉内に配置し、均熱温度を600 以上、700 未満とし、コイルの最外周部の温度が均熱温度の範囲内にある保持時間を5時間以上(18000秒間以上)とする。保持時間の上限は、特に限定する必要はないが、生産性の観点から30時間以下とする。

## 【 0 0 7 2 】

連続焼鈍設備によって焼鈍する場合は、焼鈍温度を750 以上、 $\beta$ 変態点以下とし、この温度域にて保持される時間が1分以上10分未満(60秒以上600秒未満)の条件で焼鈍する。

## 【 0 0 7 3 】

真空バッチ式熱処理炉を用いる場合は、焼き付きなどの問題から、最高温度は700 未満とする。この温度域ではチタン合金板内における元素の拡散速度はそれほど速くない。そのため、狙い温度でのCuの固溶量を最大にする(固溶強化能の最大活用)ためには、長時間にわたり保持する必要がある。加えて、バッチ式焼鈍では、コイル内の場所により温度がばらつくため。コイル全体を均質にする上でも、長時間保持は非常に重要である。以上を満足するためには、5時間以上にわたりをコイルの外周部の温度を所定の温度で保持する必要がある。好ましくは6時間以上である。

## 【 0 0 7 4 】

連続焼鈍設備による焼鈍の場合は、焼鈍温度を高温できるが、Cuの固溶し易い温度に制御する必要がある。そのため、750 以上、 $\beta$ 変態点以下にする。一方で、保持時間は短くてもよく、同温度域における保持時間が1分以上、10分未満であれば良い。

## 【 0 0 7 5 】

## &lt; 矯正および調質圧延工程 &gt;

本実施形態では、最終焼鈍後に、テンションレベラーもしくはスキンプスにて調質を施してもよく、施さなくてもよい。このような圧延を施すことで、形状を矯正しつつ、室温での強度を高めることができる。その一方で、延性などの成形性が低下する場合がある。従って、調質圧延の加工量(コイル全体の伸び量)は0.2%以上、2%以下にするとよい。加工量が0.2%以上であれば狙いの室温強度を得らえるまた、加工量が2%以下であれば、成形性の低下が避けられる。

## 【 実施例 】

## 【 0 0 7 6 】

真空アーク溶解法により、表1に示す合金番号1~15の組成のチタン材を溶解し、これを熱間鍛造してスラブとした。得られたスラブに対して、熱間圧延工程、冷間圧延工程および最終焼鈍工程を順次行った。熱間圧延後の冷却は水冷とし、300 以下まで冷却した。冷間圧延の中間焼鈍はバッチ式とした。一部について、熱間圧延工程と冷間圧延工程との間で、熱延板焼鈍工程を行った。また、一部については、矯正および調質圧延工程を行った。各工程の条件を表2に示す。このようにして、No. 1~27のチタン合金板

10

20

30

40

50

を製造した。

【 0 0 7 7 】

得られたチタン合金板について、平均結晶粒径および集合組織についての測定を行った。また、第二相の面積率の測定も行った。更に、室温強度、延性、高温強度についても測定した。測定方法は上述した通りとした。ただし、平均結晶粒径、E B S D測定および第二相の面積率は、チタン合金板の厚さ方向及び板長手方向に平行な断面において測定した。また、平均結晶粒径、集合組織を測定する際の視野は、 $1000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$ とした。結果を表3に示す。

【 0 0 7 8 】

表1～表3に示すように、No. 1～10およびNo. 16～21のチタン合金板は、化学組成および集合組織が本発明の範囲を満足した。これにより、成形性、室温機械的特性（強度、延性）および高温強度に優れていた。

10

【 0 0 7 9 】

No. 11～15のチタン合金板は、化学組成が本発明の範囲から外れたため、成形性または室温強度が不十分になった。

【 0 0 8 0 】

No. 22～27のチタン合金板は、化学組成が本発明の範囲を満足するが、製造条件が好ましい範囲から外れたため、平均結晶粒径または集合組織が本発明の範囲を満足しないものとなり、成形性または室温強度が不十分になった。また、一部については、延性も低下した。

20

【 0 0 8 1 】

【表 1】

| 素材<br>No. | 化学組成(質量%, 残部:Ti および不純物) |            |              |              |       |       |       |                     |
|-----------|-------------------------|------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|---------------------|
|           | Cu                      | Nb         | O            | Fe           | N     | C     | H     | $\beta$ 変態点<br>(°C) |
| 1         | 0.5                     | 0          | 0.080        | 0.030        | 0.020 | 0.021 | 0.004 | 883                 |
| 2         | 0.5                     | 0.5        | 0.040        | 0.030        | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 874                 |
| 3         | 0.5                     | 0.9        | 0.035        | 0.030        | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 869                 |
| 4         | 0.8                     | 0          | 0.030        | 0.030        | 0.030 | 0.003 | 0.003 | 873                 |
| 5         | 0.8                     | 0.4        | 0.060        | 0.030        | 0.004 | 0.004 | 0.005 | 873                 |
| 6         | 1.1                     | 0          | 0.055        | 0.030        | 0.004 | 0.008 | 0.005 | 870                 |
| 7         | 1.1                     | 0.6        | 0.040        | 0.040        | 0.006 | 0.007 | 0.003 | 864                 |
| 8         | 1.5                     | 0          | 0.055        | 0.040        | 0.008 | 0.008 | 0.004 | 866                 |
| 9         | 1.5                     | 0.5        | 0.030        | 0.020        | 0.005 | 0.005 | 0.003 | 859                 |
| 10        | 1.8                     | 0          | 0.035        | 0.020        | 0.006 | 0.006 | 0.005 | 860                 |
| 11        | <u>2.5</u>              | 0          | 0.080        | 0.040        | 0.008 | 0.010 | 0.005 | 854                 |
| 12        | 1.2                     | <u>1.5</u> | 0.090        | 0.040        | 0.008 | 0.010 | 0.004 | 861                 |
| 13        | 1.0                     | 0          | <u>0.200</u> | 0.030        | 0.008 | 0.010 | 0.004 | 889                 |
| 14        | 1.8                     | 0          | 0.060        | <u>0.200</u> | 0.008 | 0.010 | 0.004 | 857                 |
| 15        | <u>0.2</u>              | 0          | 0.035        | 0.030        | 0.010 | 0.010 | 0.005 | 882                 |

下線部は、本発明の化学組成から外れることを意味する。

【 0 0 8 2 】

【表 2】

| No. | 素材<br>No. | 熱間圧延             |            |    | 熱延板焼鈍      |           | 冷間圧延                |                 |                 |                    | 最終焼鈍      |      |            | 調質<br>(%) | 板厚<br>(mm) |
|-----|-----------|------------------|------------|----|------------|-----------|---------------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------|------|------------|-----------|------------|
|     |           | 加熱<br>温度<br>(°C) | 圧延率<br>(%) | 冷却 | 温度<br>(°C) | 時間<br>(s) | 最終焼鈍前<br>冷延率<br>(%) | 総<br>圧下率<br>(%) | 冷延<br>回数<br>(回) | 中間焼鈍<br>温度<br>(°C) | 時間<br>(s) | 方法   | 温度<br>(°C) | 時間<br>(s) |            |
| 1   | 1         | 860              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 89                  | 89              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 630        | 28800     | 0.5        |
| 2   | 2         | 860              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 73                  | 73              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 650        | 28800     | 1.2        |
| 3   | 3         | 830              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 82                  | 82              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 680        | 28800     | 0.8        |
| 4   | 4         | 830              | 97         | 水冷 | 780        | 120       | 78                  | 78              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 680        | 28800     | 1.0        |
| 5   | 5         | 830              | 97         | 水冷 | 730        | 60        | 82                  | 82              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 680        | 28800     | 0.8        |
| 6   | 6         | 830              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 75                  | 89              | 2               | 770                | 60        | バッチ式 | 680        | 54000     | 0.5        |
| 7   | 7         | 830              | 97         | 水冷 | 780        | 300       | 82                  | 82              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 680        | 54000     | 0.8        |
| 8   | 8         | 830              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 75                  | 89              | 2               | 730                | 180       | バッチ式 | 680        | 36000     | 0.5        |
| 9   | 9         | 830              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 82                  | 82              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 680        | 54000     | 0.8        |
| 10  | 10        | 830              | 97         | 水冷 | 830        | 450       | 65                  | 84              | 2               | 830                | 300       | バッチ式 | 650        | 72000     | 0.3        |
| 11  | 11        | 830              | 97         | 水冷 | 780        | 100       | 60                  | 82              | 2               | 750                | 100       | バッチ式 | 650        | 36000     | 1.5        |
| 12  | 12        | 830              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 75                  | 89              | 2               | 750                | 100       | バッチ式 | 680        | 36000     | 1.0        |
| 13  | 13        | 830              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 75                  | 89              | 2               | 750                | 100       | バッチ式 | 680        | 36000     | 1.0        |
| 14  | 14        | 830              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 88                  | 88              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 680        | 36000     | 1.0        |
| 15  | 15        | 830              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 88                  | 88              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 680        | 36000     | 1.0        |
| 16  | 6         | 830              | 97         | 水冷 | 無し         | 無し        | 80                  | 80              | 1               | 無し                 | 無し        | 連続焼鈍 | 800        | 120       | 0.8        |
| 17  | 6         | 830              | 98         | 水冷 | 780        | 100       | 80                  | 80              | 1               | 無し                 | 無し        | 連続焼鈍 | 800        | 500       | 0.8        |
| 18  | 4         | 830              | 98         | 水冷 | 無し         | 無し        | 75                  | 88              | 2               | 780                | 100       | 連続焼鈍 | 800        | 300       | 0.5        |
| 19  | 6         | 860              | 98         | 水冷 | 780        | 100       | 80                  | 80              | 1               | 780                | 100       | バッチ式 | 680        | 36000     | —          |
| 20  | 6         | 930              | 98         | 水冷 | 780        | 100       | 80                  | 80              | 1               | 780                | 100       | バッチ式 | 680        | 36000     | —          |
| 21  | 6         | 930              | 98         | 水冷 | 780        | 100       | 75                  | 89              | 2               | 780                | 100       | バッチ式 | 680        | 36000     | 1.0        |
| 22  | 4         | 1000             | 98         | 水冷 | 780        | 100       | 75                  | 89              | 2               | 780                | 100       | バッチ式 | 680        | 36000     | 1.5        |
| 23  | 4         | 830              | 98         | 水冷 | 無し         | 無し        | 75                  | 89              | 2               | 780                | 100       | 連続焼鈍 | 900        | 120       | 1.0        |
| 24  | 4         | 830              | 98         | 水冷 | 無し         | 無し        | 47                  | 73              | 2               | 780                | 100       | バッチ式 | 680        | 36000     | 0.1        |
| 25  | 4         | 830              | 98         | 水冷 | 無し         | 無し        | 75                  | 89              | 2               | 780                | 100       | バッチ式 | 520        | 10800     | 1.0        |
| 26  | 4         | 860              | 98         | 水冷 | 780        | 100       | 50                  | 50              | 1               | 無し                 | 無し        | バッチ式 | 550        | 36000     | 1.5        |
| 27  | 4         | 830              | 98         | 水冷 | 無し         | 無し        | 50                  | 78              | 2               | 700                | 100       | バッチ式 | 650        | 36000     | 4.0        |

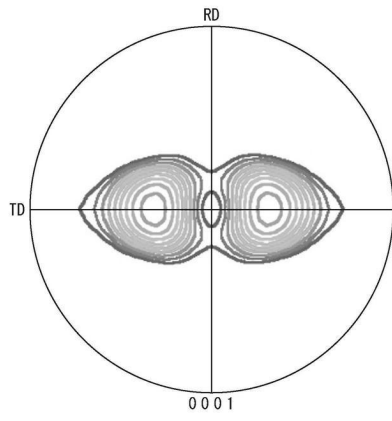
下線部は、好ましい製造条件から外れることを意味する。

【表 3】

| No. | 集合組織              |           |                                          |                 | 平均<br>結晶<br>粒径<br>( $\mu\text{m}$ ) | 式 (1) | 第二相<br>面積率<br>(%) | 球頭<br>張出<br>高さ<br>(mm) | 室温機械的特性   |    | 700℃の<br>0.2%<br>耐力<br>(MPa) | 備考  |
|-----|-------------------|-----------|------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-------|-------------------|------------------------|-----------|----|------------------------------|-----|
|     | 極点図               |           | c軸と板厚方向との<br>なす角が60～90° の<br>結晶粒の面積率 (%) | 0.2%耐力<br>(MPa) |                                     |       |                   |                        | 延性<br>(%) |    |                              |     |
|     | 板厚方向との<br>なす角(° ) | 最大<br>集積度 |                                          |                 |                                     |       |                   |                        |           |    |                              |     |
| 1   | 38                | 9.5       | 5                                        |                 | 30                                  | 7.5   | 0                 | 26                     | 249       | 42 | 22                           | 発明例 |
| 2   | 41                | 5.3       | 13                                       |                 | 20                                  | 6.7   | 0.3               | 21                     | 233       | 35 | 25                           |     |
| 3   | 35                | 8.1       | 6                                        |                 | 10                                  | 8.0   | 0.4               | 24                     | 268       | 37 | 26                           |     |
| 4   | 35                | 5.2       | 12                                       |                 | 8                                   | 8.0   | 0.3               | 23                     | 271       | 37 | 28                           |     |
| 5   | 33                | 8.2       | 5                                        |                 | 4                                   | 11.6  | 0.5               | 23                     | 369       | 35 | 23                           |     |
| 6   | 35                | 6.3       | 15                                       |                 | 10                                  | 9.5   | 0.5               | 23                     | 311       | 35 | 30                           |     |
| 7   | 35                | 8.5       | 7                                        |                 | 15                                  | 8.8   | 1.2               | 23                     | 292       | 34 | 30                           |     |
| 8   | 31                | 6.5       | 11                                       |                 | 10                                  | 10.6  | 1.3               | 22                     | 344       | 34 | 32                           |     |
| 9   | 35                | 11.0      | 6                                        |                 | 8                                   | 10.1  | 1.5               | 23                     | 328       | 33 | 33                           |     |
| 10  | 38                | 4.9       | 11                                       |                 | 4                                   | 12.4  | 2.5               | 21                     | 388       | 28 | 35                           |     |
| 11  | 35                | 6.0       | 21                                       |                 | 4                                   | 16.5  | 5.1               | 18                     | 519       | 22 | 45                           | 比較例 |
| 12  | 35                | 8.5       | 18                                       |                 | 5                                   | 14.5  | 1.5               | 18                     | 457       | 28 | 31                           |     |
| 13  | 37                | 4.6       | 12                                       |                 | 20                                  | 14.6  | 0.8               | 18                     | 464       | 27 | 32                           |     |
| 14  | 35                | 10.0      | 3                                        |                 | 5                                   | 15.6  | 2.3               | 19                     | 485       | 28 | 35                           |     |
| 15  | 35                | 13.0      | 10                                       |                 | 30                                  | 4.7   | 0.1               | 25                     | 172       | 45 | 15                           |     |
| 16  | 35                | 9.0       | 5                                        |                 | 10                                  | 9.5   | 0.5               | 23                     | 311       | 37 | 30                           | 発明例 |
| 17  | 35                | 9.0       | 5                                        |                 | 30                                  | 7.9   | 0.5               | 23                     | 266       | 37 | 30                           |     |
| 18  | 35                | 7.2       | 9                                        |                 | 20                                  | 6.5   | 0.5               | 23                     | 224       | 37 | 27                           |     |
| 19  | 35                | 7.0       | 12                                       |                 | 8                                   | 9.9   | 0.5               | 23                     | 288       | 40 | 30                           |     |
| 20  | 35                | 5.0       | 19                                       |                 | 8                                   | 9.9   | 0.5               | 21                     | 288       | 40 | 30                           |     |
| 21  | 35                | 8.0       | 19                                       |                 | 8                                   | 9.9   | 0.5               | 21                     | 324       | 32 | 30                           | 比較例 |
| 22  | 45                | 4.9       | 30                                       |                 | 20                                  | 6.5   | 0.5               | 19                     | 227       | 33 | 31                           |     |
| 23  | 35                | 2.5       | 17                                       |                 | 20                                  | 6.5   | 0                 | 15                     | 224       | 28 | 27                           |     |
| 24  | 45                | 4.6       | 27                                       |                 | 30                                  | 6.0   | 0.4               | 21                     | 197       | 42 | 30                           |     |
| 25  | 35                | 4.9       | 24                                       |                 | 1                                   | 15.8  | 2.2               | 17                     | 488       | 22 | 21                           |     |
| 26  | 43                | 4.6       | 26                                       |                 | 15                                  | 6.9   | 1.8               | 19                     | 239       | 27 | 27                           |     |
| 27  | 35                | 6.0       | 20                                       |                 | 80                                  | 5.1   | 0.6               | 16                     | 197       | 20 | 27                           |     |

下線部は、本発明から外れるか好ましい特性値から外れることを意味する。

【図 1】



フロントページの続き

| (51)Int.Cl. | F I          | テーマコード (参考) |
|-------------|--------------|-------------|
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 3 0 K     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 5 0 A     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 5 1 B     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 8 2       |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 8 3       |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 8 4 B     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 8 4 C     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 8 5 Z     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 8 6 A     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 9 1 B     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 9 1 C     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 9 1 Z     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 9 2 A     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 9 2 B     |
|             | C 2 2 F 1/00 | 6 9 4 A     |
|             | C 2 2 F 1/18 | H           |

- (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 國枝 知徳  
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 石黒 雄也  
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 岳辺 秀徳  
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 ▲高▼橋 一浩  
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