

(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2004-283888

(P2004-283888A)

(43) 公開日 平成16年10月14日(2004.10.14)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
B 2 1 B 37/76	B 2 1 B 37/00	4 E 0 0 3
B 2 1 B 37/00	B 2 1 B 45/02	4 E 0 2 4
B 2 1 B 37/74	B 2 1 D 1/00	Z
B 2 1 B 45/02	B 2 1 B 37/00	B B J
B 2 1 D 1/00	B 2 1 B 37/00	1 3 2 Z
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 30 頁)		

(21) 出願番号 特願2003-81194 (P2003-81194)  
 (22) 出願日 平成15年3月24日 (2003.3.24)

(71) 出願人 000001199  
 株式会社神戸製鋼所  
 兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番2  
 6号  
 (74) 代理人 100067828  
 弁理士 小谷 悦司  
 (74) 代理人 100075409  
 弁理士 植木 久一  
 (72) 発明者 森本 禎夫  
 兵庫県加古川市金沢町1番地 株式会社神  
 戸製鋼所加古川製鉄所内  
 (72) 発明者 小林 克壮  
 兵庫県加古川市金沢町1番地 株式会社神  
 戸製鋼所加古川製鉄所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 降伏応力及び残留応力のバラツキの小さい鋼板並びにその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 降伏応力や残留応力等の特性分布が制御された鋼板を提供する。

【解決手段】 圧延されたままの又は加速冷却された鋼板であって、該鋼板から少なくとも1つの部位を切断したときに、下記(1)式で定義される残留応力パラメータの絶対値が3.0MPa以下となるように矯正されていると共に、鋼板のフェライト粒径のバラツキが(測定領域における平均値±1.5µm)の範囲内にある。

【数1】

$$\eta = \frac{\sum(\sigma \cdot s)}{\Omega} \dots (1)$$

但し、鋼板全体の面積をS(mm<sup>2</sup>)、微少領域の面積をs(mm<sup>2</sup>)、微少領域での鋼板の長手方向残留応力値又は幅方向残留応力値を(MPa)、補正総切断領域を(m<sup>2</sup>)とする。

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

圧延されたままの又は加速冷却された鋼板であって、該鋼板から少なくとも 1 つの部位を切断したときに、下記 (1) 式で定義される残留応力パラメータの絶対値が 3.0 MPa 以下となるように矯正されていると共に、鋼板のフェライト粒径のバラツキが (測定領域における平均値  $\pm 1.5 \mu\text{m}$ ) の範囲内にあることを特徴とする降伏応力及び残留応力のバラツキの小さい鋼板。

## 【数 1】

$$\eta = \frac{\sum(\sigma \cdot s)}{\Omega} \cdot \cdot \cdot (1)$$

10

但し、鋼板全体の面積を  $S (\text{mm}^2)$ 、微少領域の面積を  $s (\text{mm}^2)$ 、微少領域での鋼板の長手方向残留応力値又は幅方向残留応力値を (MPa)、補正総切断領域を ( $\text{mm}^2$ ) とする。

## 【請求項 2】

圧延されたままの又は加速冷却された鋼板であって、鋼板表面の  $100 \text{mm} \times 100 \text{mm}$  の略正方形領域での鋼板の長手方向残留応力又は幅方向残留応力の平均値として定義される残留応力の絶対値が 30.8 MPa 以下であると共に、前記略正方形領域での鋼板の長手方向残留応力又は幅方向残留応力の偏差が 6.1 MPa 以下となるように矯正されており、且つ鋼板のフェライト粒径のバラツキが (測定領域における平均値  $\pm 1.5 \mu\text{m}$ ) の範囲内にあることを特徴とする降伏応力及び残留応力のバラツキの小さい鋼板。

20

## 【請求項 3】

圧延されたままの又は加速冷却された鋼板であって、鋼板表面の  $100 \text{mm} \times 100 \text{mm}$  の略正方形領域での鋼板の長手方向残留歪み又は幅方向残留歪みの平均値として定義される残留歪みの絶対値が  $1.5 \times 10^{-4}$  以下であると共に、前記略正方形領域での鋼板の長手方向残留歪み又は幅方向残留歪みの偏差が  $3.0 \times 10^{-4}$  以下となるように矯正されており、且つ鋼板のフェライト粒径のバラツキが (測定領域における平均値  $\pm 1.5 \mu\text{m}$ ) の範囲内にあることを特徴とする降伏応力及び残留応力のバラツキの小さい鋼板。

## 【請求項 4】

前記矯正はローラレベラによるものである請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の鋼板。

30

## 【請求項 5】

前記ローラレベラによる矯正を冷間で行うものである請求項 4 に記載の鋼板。

## 【請求項 6】

降伏応力が (測定領域における平均値  $\pm 20 \text{MPa}$ ) の範囲内にある請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の鋼板。

## 【請求項 7】

残留応力が (測定領域における平均値  $\pm 10 \text{MPa}$ ) の範囲内にある請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の鋼板。

## 【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の鋼板を製造するに当たり、スラブ加熱温度の温度差を 50 以下にして加熱した後圧延し、引き続き圧延材における定常部温度よりも 30 以上低い領域を切断除去し、更に塑性率: 80% 以上、幅方向全面の塑性率バラツキを 2% 以内にして冷間矯正することを特徴とする降伏応力及び残留応力のバラツキの小さい鋼板の製造方法。

40

## 【請求項 9】

圧延後に平均冷却速度: 3 / 秒以下で加速冷却する請求項 8 に記載の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、残留応力や降伏応力等の特性分布が一定の範囲内となるように制御された鋼板

50

に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

一般的な鋼板の製造方法では、例えばスラブを1000～1200程度に加熱し、所定の寸法になるまで熱間圧延（粗圧延及び仕上げ圧延）を行う。また、TMCP（Thermo-Mechanical Control Process）鋼板の場合、加速冷却又は直接焼き入れを実施した後、熱間矯正により鋼板を平坦化し、ガス切断、プラズマ切断、レーザ切断又はシャー切断により所定寸法に切断される。

【0003】

上記各工程における様々な製造条件のバラツキにより、鋼板に不均一な残留応力が発生する。例えば、加熱時の温度不均一（加熱ムラ）、圧延時の平坦度不良（波や反り）や板厚偏差、表面のスケール性状（スケールの成分や厚み）の不均一に起因する水冷時の冷却ムラ、加速冷却やデスケリング時の不均一冷却（特に鋼板四周部）、熱間矯正時の零点のズレやロール撓み、空冷時の不均一冷却、熱切断時の熱影響による残留応力及び組織変化・硬化、シャー切断時の切断歪、冷間矯正時の零点のズレやロール撓み、熱処理における表面性状の違い（手入れやショットプラスの有無）等がその原因である。

【0004】

従来、需要家における加工情報、例えば加工条件、加工方法、加工形状及び加工精度の許容値等に応じて、鋼板の残留歪、残留応力又はこれらから演算されるパラメータ等の特性が制御された鋼板というものは存在していなかった。

【0005】

従って、上記残留応力を有する従来の鋼板を需要家において切断した場合、切断により残留応力が解放され、鋼板に伸張、収縮、横曲がり、反り等が発生する。残留応力の解放による鋼板の変形が大きい場合、切断された鋼板の形状や寸法が許容誤差範囲を逸脱する可能性がある。その結果、需要家における鋼板の切断及び組立時の生産性が低下するという問題点を有していた。また、鋼板の変形及び変形のバラツキを考慮した設計をしなければならず、設計上の制約が大きいという問題点を有していた。

【0006】

鋼板の残留応力を小さくする技術として、熱間圧延後の冷却において、冷却速度を制御したり、板厚との関係で水量密度を制御することも提案されている（例えば、特許文献1、2参照）。また、鋼板の化学成分組成を規定すると共に、熱間圧延仕上げ温度、その後の冷却速度や巻取り温度等を適切に制御し、更にロールレベラーによる矯正時の曲率半径Rを、板厚、鋼板のヤング率、鋼板の降伏強さなどで所定の関係を満足するように制御することによって残留応力のバラツキを低減する技術も提案されている（例えば、特許文献3参照）。しかしながら、これらの技術においても、残留応力やそのバラツキを十分に小さくできていない。

【0007】

一方、鋼板の特性を評価する上で、その基本的な特性となる降伏応力についても鋼板内のバラツキが少ないことも重要な要件となる。こうしたバラツキが大きくなると、機械曲げや熱曲げ等の加工の際に加工量にバラツキが生じてしまう（加工性が悪くなる）という問題が生じる。

【0008】

こうしたことから、降伏応力のバラツキを低減する試みが様々な角度からなされている。こうした技術として、化学成分組成を適切に調整した鋼片を用い、鋼片中の温度偏差が60以下となるように加熱した後、熱間圧延過程で、900以下での最初の圧下時の鋼板内温度偏差を40以下に、最終の圧下時の鋼板内温度偏差を20以下にしてAr<sub>3</sub>点以上の温度で圧延を終了することにより鋼板内の強度変動を20MPa以内に制御することも提案されている（例えば、特許文献4参照）。また、化学成分組成を適切に調整した鋼材を用い、950～1350の温度に加熱後、1000～900の温度域における累積圧下率が15%以上、且つ900未満変態開始温度以上での累積圧下率が40% 50

以上となる熱間圧延を施し、その後空冷または1 / 秒以上の冷却速度で冷却して板内均一性を達成する技術も提案されている（例えば、特許文献5）。

【0009】

これらの技術は、基本的に熱間圧延条件を適切に規定することによって、特性のバラツキを低減するものであり、また特性のバラツキの低減という観点からすれば有用なものであるが、熱間条件は鋼材の化学成分組成に影響されるものであり、広く一般的に適用できる技術とはいえない。

【0010】

【特許文献1】

特開昭60-174831号公報 特許請求の範囲

10

【特許文献2】

特開昭62-180022号公報 特許請求の範囲

【特許文献3】

特開2000-212688号公報 特許請求の範囲

【特許文献4】

特開平7-126744号公報 特許請求の範囲

【特許文献5】

特開平7-17731号公報 特許請求の範囲

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

20

本発明は、こうした状況の下になされたものであって、その目的は、降伏応力や残留応力等の特性分布が制御された鋼板を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成し得た本発明の鋼板とは、圧延されたままの又は加速冷却された鋼板であって、該鋼板から少なくとも1つの部位を切断したときに、下記(1)式で定義される残留応力パラメータの絶対値が3.0MPa以下となるように矯正されていると共に、鋼板のフェライト粒径のバラツキが(測定領域における平均値 $\pm 1.5\mu\text{m}$ )の範囲内にある点に要旨を有するものである。

【0013】

30

【数2】

$$\eta = \frac{\sum(\sigma \cdot s)}{\Omega} \dots (1)$$

【0014】

但し、鋼板全体の面積を $S(\text{mm}^2)$ 、微少領域の面積を $s(\text{mm}^2)$ 、微少領域での鋼板の長手方向残留応力値又は幅方向残留応力値を $(\text{MPa})$ 、補正総切断領域を $(\text{mm}^2)$ とする。

【0015】

また、本発明の別の鋼板は、圧延されたままの又は加速冷却された鋼板であって、鋼板表面の $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ の略正方形領域での鋼板の長手方向残留応力又は幅方向残留応力の平均値として定義される残留応力の絶対値が $30.8\text{MPa}$ 以下であると共に、前記略正方形領域での鋼板の長手方向残留応力又は幅方向残留応力の偏差が $6.1\text{MPa}$ 以下となるように矯正されており、且つ鋼板のフェライト粒径のバラツキが(測定領域における平均値 $\pm 1.5\mu\text{m}$ )の範囲内にあることを特徴とする。

40

【0016】

本発明の更に別の鋼板は、圧延されたままの又は加速冷却された鋼板であって、鋼板表面の $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ の略正方形領域での鋼板の長手方向残留歪み又は幅方向残留歪みの平均値として定義される残留歪みの絶対値が $1.5 \times 10^{-4}$ 以下であると共に、前記略正方形領域での鋼板の長手方向残留歪み又は幅方向残留歪みの偏差が $3.0 \times 10^{-4}$

50

<sup>4</sup> 以下となるように矯正されており、且つ鋼板のフェライト粒径のバラツキが（測定領域における平均値 $\pm 1.5 \mu\text{m}$ ）の範囲内にあることを特徴とする。

【0017】

上記各鋼板において、前記矯正はローラレベラによることが好ましい。また、前記ローラレベラによる矯正を冷間で行うことが好ましい。

【0018】

上記各鋼板においては、降伏応力や残留応力のバラツキが低減されたものとなるが、（1）降伏応力が（測定領域における平均値 $\pm 20 \text{MPa}$ ）の範囲内にあることや、（2）残留応力が（測定領域における平均値 $\pm 10 \text{MPa}$ ）の範囲内にあることが好ましい。

【0019】

一方、本発明の鋼板を製造するに当たっては、スラブ加熱温度の温度差を50以下にして加熱した後圧延し、引き続き圧延材における定常部温度よりも30以上低い領域を切断除去し、更に塑性率：80%以上、幅方向全面の塑性率バラツキを2%以内にして冷間矯正すれば良い。またこの製造方法においては、必要によって圧延後に平均冷却速度3/sec以下で加速冷却することも有用であり、これによって加速冷却で生じる圧延材の板面内におけるフェライト変態の生じ方をほぼ同一なものとすることができ、フェライト粒径の均一性が確保できるという効果が発揮される。

【0020】

【発明の実施の形態】

本発明者らは、上記目的を達成するために様々な角度から検討した。その結果、上記構成を採用すれば上記目的が見事に達成されることを見出し、本発明を完成した。本発明では、上記のように、各種実施形態によって残留応力のバラツキを低減すると共に、フェライト粒径のバラツキを所定範囲内に収めることによって、降伏応力のバラツキの低減を図ったものである。このうち、残留応力のバラツキの低減に係る各種実施形態については、同一出願人によって先に提案した技術（特開2000-301220号）を基礎とするものであるが、これらの各種実施形態について説明する。

【0021】

（第1の実施形態）

本発明の鋼板、鋼板製造装置及び鋼板製造方法に関する第1の実施形態について説明する。第1の実施形態は、鋼板の残留応力分布から残留応力パラメータの値を演算により求め、残留応力パラメータの値が所定範囲内になるように制御するものである。

【0022】

第1の実施形態における鋼板製造装置の構成を図1に示す。まず、加熱炉1によりスラブを1000～1200程度に加熱し、第1圧延装置2により板厚が第1所定寸法になるまで粗圧延を行う。次に、冷却装置3により、例えばTMC P鋼板の場合700～1100程度に冷却し、第2圧延装置4により板厚が第2所定寸法になるまで仕上げ圧延を行う。さらに、加速冷却装置5により400～650程度に急速冷却した後、熱間矯正装置6により鋼板の形状を平坦化する。

【0023】

熱間矯正装置6の上部には、搬送されてくる鋼板の先端を検出し、一定間隔でパルス信号を発生するパルス発生装置（以下、PLG（Pulse Length Generator）と称する）11が設けられている。PLG11からのパルス信号をカウントし、カウントしたパルス数に一定の長さ（1パルスを発生する間の鋼板の移動量）をかけることにより、鋼板の先端からの現在位置がわかる。

【0024】

また、熱間矯正装置6の下流側には、例えばサーモビューアや走査型の放射温度計等の温度計7が設けられている。PLG11と温度計7の距離を固定し、鋼板8の搬送速度を一定とすることにより、熱間矯正された鋼板8の表面の温度分布を測定することができる。

【0025】

温度計7による温度測定データ及びPLG11による鋼板の長手方向の位置情報は、それ

10

20

30

40

50

ぞれデジタルダイレクトコントローラ（以下、DDCと称する）12及びプロセスコンピュータ13を介してサーバコンピュータ15に転送される。

【0026】

一方、鋼板8の圧延サイズ、製品サイズ、製品採取位置、条切断幅、鋼板グレード等の情報がホストコンピュータ19から入力され、ラインコンピュータ14及びプロセスコンピュータ13を介してサーバコンピュータ15に転送される。これらの情報は、サーバコンピュータ15から、さらにキャンパ（横曲がり）予測コンピュータ16、座屈予測コンピュータ17、変形予測コンピュータ18に転送される。

【0027】

キャンパ予測コンピュータ16では、温度測定データ及び位置情報を用いて、例えば本出願人による特公平4-8128号公報に記載された演算方法等により鋼板8の残留応力分布を演算する。演算された残留応力分布データは、サーバコンピュータ15を経由して、座屈予測コンピュータ17及び変形予測コンピュータ18に転送される。これらのコンピュータ16～18により、それぞれ条切断後のキャンパ予測値、座屈予測値、切断時の変形予測値が演算される。尚、キャンパ予測値と座屈予測値の演算方法の詳細に関しては、例えば本出願人による特開平10-56500号公報に記載されているので、ここでは省略する。

10

【0028】

切断時の変形予測値の一例として、鋼板サイズ、材質、残留応力分布の演算値、需要家での切断形状や切断方法等にもとづいて、変形予測コンピュータ18により、鋼板の特性（残留応力分布等）の不均一さを表すパラメータを演算し、パラメータが所定の許容範囲内にあるか否かを判断する。

20

【0029】

広義のパラメータとしては、鋼板自体の残留応力や残留歪み、鋼板を切断した場合の変位や変形量等の最大値、最小値、平均値、総和、偏差、絶対値及び分布等が挙げられる。更に、狭義のパラメータとしては、残留応力分布から演算により求めた応力パラメータ、残留歪み分布から演算により求めた歪みパラメータ等が考えられる。

【0030】

第1の実施形態では、パラメータとして、以下の(1)式で表される残留応力パラメータを演算する。但し、鋼板全体の面積を $S$  ( $\text{mm}^2$ )、微少領域の面積を $s$  ( $\text{mm}^2$ )、微少領域での長手方向残留応力値又は幅方向残留応力値を ( $\text{MPa}$ )、補正総切断領域を ( $\text{mm}^2$ ) とする。

30

【0031】

【数3】

$$\eta = \frac{\sum_{\Omega} (\sigma \cdot s)}{S} \dots (1)$$

【0032】

残留応力パラメータと需要家の要求精度 $q$ により決定される許容値 $c(q)$ との間には、最小許容値を $c^{\text{min}}(q)$ 、最大許容値を $c^{\text{max}}(q)$ として、 $c^{\text{min}}(q) < \eta < c^{\text{max}}(q)$ が成り立つ。

40

【0033】

残留応力パラメータを演算すると、変形予測コンピュータ18は、ホストコンピュータ19から転送されてきた需要家や用途に応じてあらかじめ決められた許容範囲の上限値及び下限値との大小比較を行う。比較の結果、応力パラメータが許容範囲内でない場合、矯正装置（ローラレベラ）10や熱処理炉9により鋼板8の残留応力を低減するための矯正条件を設定する。なお、ローラレベラによる矯正の残留応力低減効果は、例えば本出願人による特開平9-57348号公報に記載されているので、参照されたい。また、矯正条件の設定については後述する。

【0034】

50

通常は、設定された矯正条件に従って、矯正装置（ローラレベラ）10のインターメッシュを調節して矯正（冷間矯正）を行う。また、矯正装置10の能力から決定される最大矯正条件で矯正したと仮定した場合における鋼板の残留応力分布から演算される残留応力パラメータが許容値を超える場合は、熱処理後の残留応力分布から演算される残留応力パラメータが許容値を満たす必要最小限の熱処理条件（熱処理温度及び時間）を設定し、矯正の前処理として熱処理炉9を用いて残留応力の低減を行い、その後矯正装置10による矯正を行う。熱処理による残留応力の低減については、例えば本出願人による特開平9-78145号公報に記載されているので、参照されたい。

#### 【0035】

尚、熱処理条件の設定に際し、熱処理により鋼板の強度や降伏応力等の材質が変化するので、材質変化を考慮した上で、熱処理の可否についてあらかじめ決定しておく必要がある。本実施形態の鋼板製造装置では、変形予測コンピュータ18のメモリ等に、鋼板のグレードに応じたクリープ係数や熱処理可否のテーブルを設けている。変形予測コンピュータ18は、各鋼板8について、それぞれ以下のような矯正コードを付与する。例えば、残留応力パラメータが所定値以下の場合、矯正不要であるので、合格を表す矯正コードK=0を付与する。また、矯正装置10による軽圧下矯正の場合、矯正コードK=1を付与する。同様に、中圧下矯正の場合、矯正コードK=2を付与する。強圧下矯正の場合、矯正コードK=3を付与する。また、熱処理を実施する場合、矯正コードK=4を付与する。

10

#### 【0036】

更に、矯正や熱処理によっても残留応力パラメータが所定値以下になる見込みがない場合は、不良を表す矯正コードK=5を付与する。

20

#### 【0037】

変形予測コンピュータ18による演算結果及び判定結果（残留応力パラメータ、矯正コード）は、サーバコンピュータ15に転送され、保存される。さらに、上位のプロセスコンピュータ13やラインコンピュータ14にも転送される。ラインコンピュータ14は、矯正コードにもとづいて次工程を決定する。例えば、矯正コードK=0の場合、矯正及び熱処理を行わずそのまま出荷する。

#### 【0038】

一方、矯正コードK=1~3の場合、鋼板8を矯正装置10に搬送し、設定された矯正コードに従って矯正を行う。さらに、矯正コードK=4の場合、まず鋼板8を熱処理炉9に搬送して熱処理を行った後、さらに鋼板8を矯正装置10に搬送し、強圧下で矯正を行う。なお、矯正コードK=5の場合、製造工程から除去する。

30

#### 【0039】

これと並行して、ラインコンピュータ14は、当該鋼板8の矯正及び熱処理条件（演算矯正条件及び演算熱処理条件）を矯正装置10及び熱処理炉9にそれぞれ転送する。矯正装置10及び熱処理炉9は、ラインコンピュータ14からの条件に従って矯正及び熱処理を実施し、実施した矯正及び熱処理の条件（実績矯正条件及び実績熱処理条件）をラインコンピュータ14に転送する。

#### 【0040】

変形予測値（例えば残留応力パラメータの値）、矯正コード、熱処理コード、演算矯正条件、演算熱処理条件、実績矯正条件、実績熱処理条件、平坦度測定結果等は、ラインコンピュータ14からホストコンピュータ19に転送され、品質解析システムに蓄積される。このようにして、鋼板8の残留応力分布が一定範囲内に制御され、需要家での切断加工時の変形が許容範囲内であることが保証される。

40

#### 【0041】

次に、変形予測コンピュータ18による矯正条件設定プログラムについて、図2及び図3に示すフローチャートを参照しつつ説明する。矯正条件の設定を開始すると、キャンパ予測コンピュータ16は、温度測定データ及び位置情報を用いて鋼板の残留応力を演算する（ステップ#100）。演算された残留応力データは変形予測コンピュータ18に転送され、これを用いて応力パラメータの初期値が演算される（ステップ#105）。更

50

に、変形予測コンピュータ18は、演算した応力パラメータ $\sigma_0$ が所定の範囲内 $[\sigma_c^{min}(q)$ と $\sigma_c^{max}(q)$ の間]にあるか否かを判断する(ステップ#110)。

【0042】

残留応力パラメータ $\sigma_0$ が所定の範囲内にある場合 $[\sigma_c^{min}(q) \leq \sigma_0 < \sigma_c^{max}(q)$  : ステップ#110でYES]、当該鋼板8は残留応力が十分に小さく、矯正処理を行う必要がない。そこで、変形予測コンピュータ18は、矯正コード $K=0$ 及び残留応力パラメータ $\sigma = \sigma_0$ を設定する(ステップ#115)。

【0043】

一方、残留応力パラメータ $\sigma_0$ が所定の範囲内でない場合 $[\sigma_0 < \sigma_c^{min}(q)$ 又は $\sigma_c^{max}(q) < \sigma_0$  : ステップ#110でNO]、当該鋼板8は残留応力が大きく、矯正処理を必要とする。そこで、変形予測コンピュータ18は、矯正条件1、すなわち矯正装置10により軽圧下条件下で矯正を行ったと仮定した場合の残留応力を演算する(ステップ#120)。さらに、変形予測コンピュータ18は、矯正後の残留応力を用いて残留応力パラメータ $\sigma_1$ の演算を行い(ステップ#125)、演算した残留応力パラメータ $\sigma_1$ が所定の範囲内 $[\sigma_c^{min}(q)$ と $\sigma_c^{max}(q)$ の間]にあるか否かを判断する(ステップ#130)。

10

【0044】

残留応力パラメータ $\sigma_1$ が所定の範囲内にある場合 $[\sigma_c^{min}(q) \leq \sigma_1 < \sigma_c^{max}(q)$  : ステップ#130でYES]、当該鋼板8は、矯正条件1により矯正することにより残留応力を所定範囲内に低減可能である。そこで、変形予測コンピュータ18は、矯正コード $K=1$ 及び応力パラメータ $\sigma = \sigma_1$ を設定する(ステップ#135)。

20

【0045】

応力パラメータ $\sigma_1$ が所定の範囲内でない場合 $[\sigma_1 < \sigma_c^{min}(q)$ 又は $\sigma_c^{max}(q) < \sigma_1$  : ステップ#130でNO]、当該鋼板8は矯正条件1で矯正してもなお残留応力が大きく、さらに強力な矯正処理を必要とする。そこで、変形予測コンピュータ18は、矯正条件2、すなわち矯正装置10により中圧下条件下で矯正を行ったと仮定した場合の残留応力を演算する(ステップ#140)。さらに、変形予測コンピュータ18は、矯正後の残留応力を用いて残留応力パラメータ $\sigma_2$ の演算を行い(ステップ#145)、演算した残留応力パラメータ $\sigma_2$ が所定の範囲内 $[\sigma_c^{min}(q)$ と $\sigma_c^{max}(q)$ の間]にあるか否かを判断する(ステップ#150)。

30

【0046】

残留応力パラメータ $\sigma_2$ が所定の範囲内にある場合 $[\sigma_c^{min}(q) \leq \sigma_2 < \sigma_c^{max}(q)$  : ステップ#150でYES]、当該鋼板8は、矯正条件2により矯正することにより残留応力を所定範囲内に低減可能である。そこで、変形予測コンピュータ18は、矯正コード $K=2$ 及び残留応力パラメータ $\sigma = \sigma_2$ を設定する(ステップ#155)。

【0047】

残留応力パラメータ $\sigma_2$ が所定の範囲内でない場合 $[\sigma_2 < \sigma_c^{min}(q)$ 又は $\sigma_c^{max}(q) < \sigma_2$  : ステップ#150でNO]、当該鋼板8は矯正条件2で矯正してもなお残留応力が大きく、矯正装置10の有する能力を最大にして矯正処理する必要がある。そこで、変形予測コンピュータ18は、矯正条件3、すなわち矯正装置10により強圧下条件下で矯正を行ったと仮定した場合の残留応力を演算する(ステップ#160)。さらに、変形予測コンピュータ18は、矯正後の残留応力を用いて残留応力パラメータ $\sigma_3$ の演算を行い(ステップ#165)、演算した残留応力パラメータ $\sigma_3$ が所定の範囲内 $[\sigma_c^{min}(q)$ と $\sigma_c^{max}(q)$ の間]にあるか否かを判断する(ステップ#170)。

40

【0048】

残留応力パラメータ $\sigma_3$ が所定の範囲内にある場合 $[\sigma_c^{min}(q) \leq \sigma_3 < \sigma_c^{max}(q)$  : ステップ#170でYES]、当該鋼板8は、矯正条件3により矯正することにより残留応力を所定範囲内に低減可能である。そこで、変形予測コンピュータ18は、矯正コード $K=3$ 及び残留応力パラメータ $\sigma = \sigma_3$ を設定する(ステップ#175)。

50



## 【0049】

残留応力パラメータ<sub>3</sub>が所定の範囲内でない場合 [ $\sigma_3 < \sigma_c^{min}(q)$  又は  $\sigma_c^{max}(q) < \sigma_3$  : ステップ#170でNO]、当該鋼板8の残留応力が大きく、矯正装置10の能力を最大にしても矯正不十分である。

## 【0050】

前述のように、鋼板8の材質変化を考慮した上で、熱処理の可否についてあらかじめ決定されている。そこで、変形予測コンピュータ18は、鋼板8の熱処理可否のテーブルを検索し、当該鋼板8が熱処理可能なものか否かを判断する(ステップ#180)。

## 【0051】

鋼板8が熱処理不可能である場合(ステップ#180でNO)、当該鋼板8は矯正装置10の能力を持ってしても、その残留応力を所定範囲内に低減できないので、変形予測コンピュータ18は、不良品を表す矯正コードK=5及び応力パラメータ<sub>3</sub>を設定する(ステップ#185)。

## 【0052】

鋼板8が熱処理可能な場合(ステップ#180でYES)、変形予測コンピュータ18は、熱処理炉9で熱処理を行った後、さらに矯正条件3、すなわち矯正装置10により強圧下条件下で矯正を行ったと仮定した場合の残留応力を演算する(ステップ#190)。更に、変形予測コンピュータ18は、矯正後の残留応力を用いて残留応力パラメータ<sub>4</sub>の演算を行い(ステップ#195)、演算した応力パラメータ<sub>4</sub>が所定の範囲内 [ $\sigma_c^{min}(q)$  と  $\sigma_c^{max}(q)$  の間] にあるか否かを判断する(ステップ#200)。

## 【0053】

残留応力パラメータ<sub>4</sub>が所定の範囲内でない場合 [ $\sigma_4 < \sigma_c^{min}(q)$  又は  $\sigma_c^{max}(q) < \sigma_4$  : ステップ#200でNO]、当該鋼板8の残留応力が大きく、熱処理炉9により熱処理を行い、且つ矯正装置10の能力を最大にしても矯正不十分である。そこで、変形予測コンピュータ18は、不良品を表す矯正コードK=5及び残留応力パラメータ<sub>4</sub>を設定する(ステップ#205)。

## 【0054】

残留応力パラメータ<sub>4</sub>が所定の範囲内にある場合 [ $\sigma_4 < \sigma_c^{min}(q)$  又は  $\sigma_c^{max}(q) < \sigma_4$  : ステップ#200でYES]、当該鋼板8は、熱処理後、矯正条件3により矯正することにより残留応力を所定範囲内に低減可能である。そこで、変形予測コンピュータ18は、熱処理を表す矯正コードK=4及び残留応力パラメータ<sub>4</sub>を設定し(ステップ#210)、矯正条件設定プログラムを終了する。

## 【0055】

次に、上記鋼板製造装置又は鋼板製造方法により製造された鋼板の評価方法について説明する。

## 【0056】

従来鋼板製造方法により製造された鋼板は、残留応力分布が制御されておらず、また測定もされていない。従って鋼板の残留応力が大きい場合、需要家において当該鋼板を切断すると、許容値を超えて鋼板が伸長したり、収縮したり、横曲がりが発生したり、あるいは反りが発生する可能性がある。

## 【0057】

そこで、本発明者らは、切断加工時に生じる変形量のバラツキの少ない鋼板を開発すべく、鋼板の残留応力や残留歪みに関して鋭意研究を重ねた。その過程において、上記(1)式で表される残留応力パラメータ<sub>3</sub>の値を制御することにより、鋼板の切断後の変形量を予測できるとの知見を得た。様々な鋼板サイズ、残留応力分布、切断形状の鋼板について、有限要素法(以下、FEM: Finite Element Methodと称する)解析を行い、切断後の鋼板の変形量と残留応力パラメータ<sub>3</sub>の関係を求めた結果を図4に示す。図4において、横軸は残留応力パラメータ<sub>3</sub>の値(単位: MPa)を表し、縦軸は所定長さ当たりの変形量(単位: mm/mm、すなわち無次元)を表す。

## 【0058】

10

20

30

40

50

このように、あらかじめ切断形状、切断方法、切断サイズ、鋼板全体における切断位置等の切断情報が与えられれば、実際に鋼板を切断することなしに、鋼板の残留応力分布と切断情報から、切断時の変形を予測することができる。更に、残留応力パラメータを制御することにより、目標とする許容値以内に変形量を制御することも可能である。

【0059】

近年、鋼板切断時の変形に関する要求が厳格化しており、切断時における鋼板の収縮や伸長等の変形が長さ10,000mm当たり1.5mm以下の鋼板が求められている。この要求を満足するため、図4から、残留応力パラメータの値の絶対値を3.0MPa以下に制御することが好ましい。

【0060】

尚、上記(1)式における補正切断領域とは、切断される部位のすべての領域を意味する。また、図5(a)に示すように切断領域の形状がT字型の場合、T字の縦線部分の周りに残された材料は変形後の曲げ、収縮(引っ張り)に寄与しないため、図5(b)に示す切断領域の形状が矩形の場合と同等と考えられる。

【0061】

上記(1)式における残留応力値は、板厚方向における平均値(板厚方向における複数の位置で測定し又は解析した値の平均値)である。しかしながら、実際に鋼板の板厚方向における複数の位置で残留応力値を測定したり、あるいは解析することは非常に複雑かつ困難である。そこで、鋼板の表面の残留応力値を測定し、板厚方向における平均値に補正することができれば、残留応力値の測定又は解析が簡単かつ容易になる。

【0062】

一般に、鋼板表面での残留応力値は、必ずしも板厚方向における平均値とは一致せず、鋼板の板厚、グレード、製造方法等によって大きく異なる。長手方向残留応力の板厚方向の平均値が零である鋼板について、長手方向残留応力の板厚方向の分布を図6に示す。また、この鋼板の詳細を表1に示す。

【0063】

【表1】

対象鋼種の詳細

製品サイズ	30 <sup>t</sup> ×2,500 <sup>w</sup> ×10,000 <sup>L</sup>
鋼種	0.14C-0.22Si-1.10Mn
強度レベル	YP312MPa級鋼
製造法	鋼板A: 圧延後室温まで空冷 鋼板B: 圧延後550℃まで加速冷却し室温まで空冷

【0064】

図6において、横軸は板厚方向における測定点の位置(全体に対する割合:単位は無次元)を表し、縦軸は各測定点における鋼板の長手方向残留応力値(単位:MPa)を表す。図6から明らかなように、鋼板の表面及び裏面では、残留応力値が圧縮であり、平均値から大きくずれている。また、鋼板の板厚方向の中央部近傍では、残留応力値が引張であり、また平均値から大きくずれている。一方、鋼板の板厚方向の表面又は裏面から板厚の1/4の位置近傍では、残留応力値が平均値に比較的近い値を示している。すなわち、鋼板表面の残留応力値は板厚方向の平均値とは一致していない。そこで、鋼板表面の残留応力が板厚方向の平均値とほぼ等しくなるように、板厚、グレード又は製造方法に応じて換算又は補正を行うことが好ましい。

【0065】

次に、長手方向残留応力の板厚方向の平均値が零である鋼板(圧延したままの392MPa鋼板)について、板厚と鋼板表面の長手方向残留応力の関係を図7に示す。図7において、横軸はサンプルとした各鋼板の板厚(単位:mm)を表し、縦軸は鋼板の表面にお

10

20




30

40

50

る残留応力値（単位：MPa）を表す。図7から明らかなように、板厚が厚くなるに応じて、鋼板表面の残留応力の絶対値が大きくなる。従って、鋼板表面の残留応力の測定値から、板厚に応じて図7から求まる値を減じることにより、板厚方向平均値へ補正することができる。

【0066】

更に、板厚と製造方法及び鋼板のグレードに応じた表面の残留応力の補正值の関係を図8に示す。図8において、横軸はサンプルとした各鋼板の板厚（単位：mm）を表し、縦軸は鋼板の表面における残留応力の補正值（単位：MPa）を表す。また、図中「」は圧延したままの鋼板の値を表し、「」は加速冷却型鋼板の値を示し、「」は熱処理及び/又は矯正処理した鋼板の値を表す。

【0067】

図8から明らかなように、熱処理や矯正を施したグレードの高い鋼板は、圧延したままの鋼板や加速冷却した鋼板に比べて、板厚方向残留応力の変化が小さく、板厚による補正值の変化は小さい。また、圧延したままの鋼板と加速冷却した鋼板のように製造方法の違いによっても、板厚方向残留応力の変化が異なる。従って、これら鋼板の製造方法やグレード等の条件に応じて、それぞれ異なった補正值を用いて表面の残留応力測定値から板厚方向の平均値への補正を行うことが好ましい。

【0068】

次に、鋼板の表面の温度分布の測定時点について検討する。図1に示す鋼板製造装置では、熱間矯正装置6による熱間矯正後に、温度計7により鋼板8の表面の温度分布を測定するように構成しているが、これに限定されるものではなく、第2圧延装置4による圧延後や、加速冷却装置5による加速冷却後に測定してもよいが、計測値の補正の可否を考慮すると、熱間矯正後の測定が望ましい。

【0069】

幅方向における端部近傍に過冷却された温度分布（長手方向の温度分布は一様とする）を有する鋼板（製品長さを20mとする）に対して、FEM解析により冷却後の長手方向残留応力を演算し、その鋼板から様々なサイズ（例えば、長さ3m及び8m）の試験片を切断した場合の残留応力分布の変化を解析した。鋼板の詳細を表2に示す。また、試験片の長手方向における中央位置近傍でかつ幅方向における複数の位置で測定した長手方向残留応力分布を図9に示す。

【0070】

【表2】

対象鋼種の詳細

製品サイズ	30 <sup>t</sup> ×2,500 <sup>w</sup> ×10,000 <sup>L</sup>
鋼種	0.14C-0.22Si-1.10Mn
強度レベル	YP312MPa級鋼
製造法	圧延後550℃まで加速冷却し室温まで空冷
試験片サイズ	15 <sup>t</sup> ×2,500 <sup>w</sup> ×1,000、2,000、3,000、4000、8,000 <sup>L</sup>

【0071】

図9において、横軸は、鋼板の幅方向における測定点の位置を表し（幅3000mmの対する位置、単位：mm）、縦軸は各測定点における鋼板の長手方向残留応力の値（単位：MPa）を表す。図9から明らかなように、試験片長さに応じて鋼板の拘束状態が異なり、長手方向残留応力の分布が変化していることがわかる。すなわち、長さ3mの試験片に着目すると、切断前は同一の残留応力分布であったにもかかわらず、切断された試験片の長手方向残留応力が変化している。しかも、鋼板の側部近傍では残留応力の値が増加し、鋼板の中央部近傍では残留応力の値は低減している。これに対して、長さ8mの試験片の場合、長手方向残留応力分布が切断前の製品（長さ20m）のそれとほぼ一致している。

10

20

30

40

50

このことから、試験片の長さが短い場合には、測定した残留応力の値を、需要家で加工される長さに補正して、応力パラメータを演算する必要がある。逆に、試験片の長さが少なくとも8 m以上となるよう切断することにより、試験片の長さによる影響を受けないことがわかる。

#### 【0072】

以上のことから、試験片が短い場合は、測定した残留応力の補正が必要となる。試験片長さ $l$ と残留応力の補正係数の関係を図10に示す。図10において、横軸は鋼板(例えば長さ20 mの製品)を切断した試験片の長さ(単位m)を表し、縦軸は補正係数を表す。また、「 $C_c$ 」は鋼板の幅方向における中央部近傍での残留応力の補正係数(単位:無次元)を表し、「 $C_e$ 」は鋼板の幅方向における端部近傍での残留応力の補正係数を表す。なお、補正係数は、切断前の鋼板の幅方向における中央部及び端部から所定の位置での残留応力値に対する切断後の試験片の幅方向における同じ位置での残留応力値の割合(比)である。図9及び図10から明らかなように、試験片長さが短い場合には、幅方向における端部近傍や幅方向における中央近傍のいずれの位置でも補正が必要となり、しかも補正量が異なる。従って、試験片長さに応じて、図10から求めた補正係数の逆数を乗じることにより残留応力の補正を行うことが好ましい。

10

#### 【0073】

周知のように、切断加工時の切断方法により鋼板が変形する場合がある。例えば、ガス切断、プラズマ切断、レーザー切断といった熱切断においては、切断時の入熱により鋼板の変形量が異なる。板厚16 mmの鋼板を切断した場合における切断方法による変形量の違いを熱弾塑性FEMにより解析した結果を図11に示す。図11において、横軸は切断方法を表し、縦軸は切断時の収縮量(単位:mm)を表す。なお、図11では、シャー切断の場合も表示している。

20

#### 【0074】

図11から明らかなように、切断方法により切断入熱量が異なり、切断後の変形量が異なるので、変形量が許容範囲内となるように、切断方法及び切断入熱に応じて鋼板の残留応力パラメータを補正することが好ましい。残留応力パラメータの補正值を図12に示す。図12において、横軸は切断方法を表し、縦軸は残留応力パラメータの補正值(単位:MPa)を表す。具体的には、残留応力パラメータの値から、切断方法に応じて図12から求めた補正值を減算して補正する。尚、この補正值は、例えば図13に示す形状に鋼板を切断する場合の値であるが、補正值は切断形状及び板厚により異なるので、切断形状や板厚に応じて数水準用意しておくことが好ましい。

30

#### 【0075】

このように、第1の実施形態によれば、需要家における加工情報、例えば加工条件、加工方法、加工形状又は加工精度の許容値に応じて、加工後における残留応力による変形量が所定の許容値以下となるように、未加工状態での残留応力分布が制御された鋼板が得られる。

#### 【0076】

また、鋼板の表面の温度分布から鋼板表面の残留応力値又は残留応力分布を演算し、残留応力から残留応力パラメータの値を演算し、残留応力パラメータの値が所定範囲内にあるか否かを判断することにより、実際に鋼板を切断加工するまでもなく、切断加工後の鋼板の変形量を予測することができる。

40

#### 【0077】

また、鋼板の表面を測定して求めた残留応力の値を板厚方向の平均値に換算又は補正することにより、残留応力の測定又は解析が容易になる。更に、鋼板の板厚、グレード、製造方法に応じて補正することにより、鋼板の表面の残留応力から換算又は補正した板厚方向の平均値の値をより正確に求めることが可能となる。さらに、鋼板の幅方向における測定位置に応じて残留応力値を補正することにより、測定データが少ない場合であっても、より正確に板厚方向における残留応力の平均値を求めることが可能となる。さらに、鋼板(製品)から切断した試験片の大きさに応じて、残留応力の値を補正することにより、小

50

な試験片からでもより正確に板厚方向における残留応力の平均値を求めることが可能となる。あるいは、試験片を一定以上の大きさ（例えば長さ8 m以上）とすることにより、試験片の大きさや測定位置による残留応力値の変化をなくすことが可能となり、補正が不要となる。

【0078】

（第2の実施形態）

次に、本発明の鋼板、鋼板製造方法及び鋼板製造装置に関する第2の実施形態について説明する。第2の実施形態は、基本的に上記第1の実施形態の場合と同様であり、応力パラメータの代わりに、残留応力値が一定の範囲内となるように制御されている。

【0079】

残留応力値と需要家の要求精度 $q$ により決定される許容値 $c(q)$ との間に、残留応力の最大値を $c^{max}$ 、残留応力の最小値を $c^{min}$ 、許容値の上限を $c^{max}$ 、許容値の下限を $c^{min}$ 、残留応力値の板内偏差の許容値を $c^{dev}$ として、 $c^{min}(q) \leq c^{max}(q)$ 及び $c^{max} - c^{min} \leq c^{dev}(q)$ の少なくともいずれかの関係が成り立つ。

【0080】

図1における変形予測コンピュータ18は、残留応力の最大値、最小値、平均値、総和、偏差、絶対値又は分布が一定の範囲内となるように制御する。その他、特に記載しない部分は上記第1の実施形態の場合と同様である。

【0081】

上記残留応力パラメータと同様に、残留応力値自体も切断加工時の変形に影響を及ぼす。鋼板の残留応力値と切断加工時の変形との関係を弾性解析により求めた結果を図14に示す。図14において、横軸は鋼板の長手方向残留応力値の絶対値（単位：MPa）を表し、縦軸は所定長さの鋼板を切断した後の変形量の絶対値（単位：mm/mm、すなわち無次元）を表す。

【0082】

ここでの残留応力値は、100 mm × 100 mmの略正方形の領域での長手方向残留応力の平均値である。切断条件として、鋼板切断時の変形の絶対値が最大となる条件を想定して解析した。残留応力値の絶対値が大きくなると、鋼板を切断した時の変形の絶対値も大きくなるので、変形量が目標値となるように残留応力値を制御する必要がある。

【0083】

一般的には、残留応力値の絶対値が39.2 MPa以下程度であればよい。図14から明らかのように、特に、切断後の変形の絶対値が長さ10,000 mm当たり1.5 mm以下とする場合、残留応力値の絶対値は30.8 MPa以下が好ましい。

【0084】

また、様々なサイズ及び残留応力分布の鋼板に対して、任意の100 mm × 100 mmの正方形領域の残留応力偏差（最大値 - 最小値）と切断後の変形量の関係を図15に示す。板厚方向の平均値を考えた場合、板面内の残留応力値の偏差は61 MPa以下に規制することが好ましい。

【0085】

また、第1の実施形態と同様に、残留応力値の絶対値、最大値、最小値、平均値、偏差等についても、鋼板の板厚、グレード、切断方法等に応じた補正を加えることが好ましい。切断方法に応じた残留応力値の補正値を図16に示す。図16において、横軸は切断方法を表し、縦軸は残留応力値の補正値（単位：MPa）を表す。具体的には、残留応力値から、切断方法に応じて図12から求めた補正値を減算して補正する。この補正値も、例えば図13に示す形状に鋼板を切断する場合の値であり、切断形状に応じて数水準用意しておくことが好ましい。

【0086】

（第3の実施形態）

次に、本発明の鋼板、鋼板製造方法及び鋼板製造装置に関する第3の実施形態について説明

10

20

30

40

50

する。第3の実施形態は、基本的に上記第2の実施形態の場合と同様であり、残留応力の絶対値の代わりに、残留歪みの絶対値が一定の範囲内となるように制御されている。図1における変形予測コンピュータ18は、残留歪みの最大値、最小値、平均値、総和、偏差、絶対値又は分布が一定の範囲内となるように制御する。その他、特に記載しない部分は上記第1、2の実施形態の場合と同様である。

#### 【0087】

残留歪みと需要家の要求精度 $q$ により決定される許容値 $c(q)$ の間には、残留歪みの最大値を $c^{max}$ 、残留歪みの最小値を $c^{min}$ 、許容値の上限を $c^{max}$ 、許容値の下限を $c^{min}$ 、残留歪みの板内偏差の許容値を $c^{dev}$ として、 $c^{min}(q)$ 、 $c^{max}(q)$ 及び $c^{max} - c^{min} - c^{dev}(q)$ の少なくともいずれかの関係が成り立つ。

#### 【0088】

上記歪みパラメータと同様に、残留歪み自体も切断加工時の変形に影響を及ぼす。鋼板の残留歪みと切断加工時の変形を弾性解析により求めた結果を図17に示す。図17において、横軸は鋼板の長手方向の残留歪みの絶対値(単位無次元)を表し、縦軸は鋼板切断後の変形量の絶対値(単位: mm/mm、すなわち無次元)を表す。ここでの残留歪み値は、100mm×100mmの略正方形の領域での長手方向残留歪み値の平均値である。切断条件として、切断時の変形の絶対値が最大となる条件を想定して解析した。残留歪み値の絶対値が大きくなると切断時の変形の絶対値も大きくなるので、変形量が目標値となるように残留歪み値を制御する必要がある。

#### 【0089】

一般的には、残留歪み値の絶対値が $2.0 \times 10^{-4}$ 以下程度であればよい。図17から明らかのように、特に、切断後の変形の絶対値が長さ10,000mm当たり1.5mm以下とする場合、残留歪み値の絶対値は $1.5 \times 10^{-4}$ 以下が好ましい。

#### 【0090】

また、様々なサイズ及び残留歪み分布の鋼板に対して、任意の100mm×100mmの略正方形領域の残留歪み偏差(最大値-最小値)と切断後の変形量の関係を図18に示す。板面内の残留歪み偏差は $3.0 \times 10^{-4}$ 以下に規制することが好ましい。

#### 【0091】

また、残留歪み値の絶対値、最大値、最小値、平均値、偏差等についても、鋼板の板厚、グレード、切断方法等に応じた補正を加えることが好ましい。切断方法に応じた残留歪み値の補正值を図19に示す。図19において、横軸は切断方法を表し、縦軸は残留歪み値の補正值(単位無次元)を表す。具体的には、残留歪みの値から、切断方法に応じて図19から求めた補正值を減算して補正する。なお、この補正值は、例えば図13に示す形状に鋼板を切断する場合の値であるが、補正值は切断形状により異なるので、切断形状に応じて数水準用意しておくことが好ましい。

#### 【0092】

(その他の実施形態)

なお、上記各実施形態では、需要家ごとに切断方法や切断手段を考慮した変形予測値の演算を行うように設定したが、これに限定されるものではなく、データ転送量低減及び処理速度向上の観点から、切断条件及び切断方法を最も厳しい条件に固定してもよい。ここで、最も厳しい切断条件とは、切断時のスリットの形状が想定されるもののうち最大のものをいう。また、最も厳しい切断方法は、鋼板の収縮に対しては切断入熱による影響が大きいガス切断の場合をいい、伸長する鋼板に対しては切断入熱による影響がない切断方法を想定して設定すればよい。さらに、変形の許容値を最も厳しい条件に固定しても良い。

#### 【0093】

また、残留応力パラメータを制御する方法として、上記実施形態では、鋼板を切断した後、矯正装置(ローラレバ)10により残留応力を直接制御する機械的方法、及び必要に応じて熱処理炉9により熱処理により残留応力を直接制御する熱的方法を用いたが、これに限定されるものではなく、加熱、圧延、加速冷却等の工程を厳密に管理する間接的方

法によっても残留応力パラメータを制御することが可能である。

【0094】

更に、上記各実施形態では、鋼板の幅方向の複数の位置で、鋼板の長手方向の残留応力や残留歪み等を測定したが、これに限定されるものではなく、鋼板の長手方向の複数の位置での鋼板の幅方向の残留応力や残留歪み等を測定しても同様の効果が得られる。すなわち、鋼板の長手方向と幅方向とを置き換えたと考えればよい。さらに、鋼板の厚さ方向残留応力や厚さ方向残留歪み等を測定又は解析してもよい。

【0095】

(実験例1)

次に、上記鋼板製造方法により製造した鋼板と、従来の方法により製造した鋼板を実際に切断し、その変形量を比較する実験を行った。実験材の詳細を表3に示す。 10

【0096】

【表3】

対象鋼種の詳細

製品サイズ	16 <sup>t</sup> × 2,500 <sup>w</sup> × 10,000 <sup>L</sup>
鋼種	0.14C-0.22Si-1.10Mn
強度レベル	YP312MPa級鋼

【0097】

元の圧延サイズは16<sup>t</sup> × 2600<sup>w</sup> × 22,000<sup>L</sup> (単位: mm)であり、そこから16<sup>t</sup> × 2500<sup>w</sup> × 10,000<sup>L</sup> (単位: mm)の製品を切断した。加熱炉1による加熱温度は1200であり、圧延完了時の温度は780であった。圧延後の形状はフラットであった。 20

【0098】

加速冷却装置5による加速冷却条件は、冷却前温度760、冷却後温度550、冷却速度7 / 秒であった。さらに、熱間矯正装置6による矯正条件は、圧下設定量が入側12.0 mm、出側15.0 mmであった。また、矯正温度は540であった。熱間矯正後の平坦度もフラットであった。平坦度判定方法は、ローラテーブル上と角棒上でのストレッチャーによる平坦度測定を行った。 30

【0099】

切断した形状を図20に示す。切断方法は、図13に示すようなレーザを用いた一筆書きによるスリット切断である。また、変形量の測定は、切断の前後における基準点の変位量を測定した。

【0100】

従来例による鋼板は、冷却及び製品切断後のローラテーブル上の形状は平坦であった。一方、本発明による鋼板は、上記実施形態による応力パラメータは0.35であり、矯正コードは3であった。

【0101】

矯正装置(ローラレバ)10の詳細は、最大矯正荷重5000トン、矯正ロール径360 mm × 胴長4800 mm、矯正ロールの本数は上下各4本及び下の一本は矯正ロール径300 mm × 胴長4800 mmであった。矯正条件は、インターメッシュ量が1パス目9.0 mm、2パス目7.0 mm、3パス目5.0 mmであり、矯正速度は20 rpmであった。また、矯正後のテーブルローラ上の形状は平坦であった。 40

【0102】

切断実験の結果を図21に示す。図21において、横軸は鋼板の長手方向における先端からの距離(単位mm)を表し、縦軸は鋼板の長手方向における各測定点での変形量(単位mm/mm、すなわち無次元)を表す。図21から明らかなように、本発明による鋼板は、切断後にほとんど変形が発生しなかったのに対し、従来の鋼板は大きな変形が発生した。

## 【0103】

本発明の鋼板では、上記各実施形態を満足する他、フェライト粒径のバラツキが（測定領域における平均値 $\pm 1.5\mu\text{m}$ ）の範囲内にあることも重要である。こうした要件を満足することによって、特に降伏応力のバラツキが低減された鋼板となる。これによって、（a）降伏応力が（測定領域における平均値 $\pm 20\text{MPa}$ ）の範囲内や、（b）残留応力が（測定領域における平均値 $\pm 10\text{MPa}$ ）の範囲内にあるような特性を発揮する鋼板の実現も可能である。また、こうした降伏応力の均一化を達成することによって、後記図24に示す曲げ加工において、長手方向の収缩量〔図24（b）〕を $0.5\text{mm}$ 以下、曲げ加工量のバラツキ〔図24（c）〕を $\pm 2\text{mm}$ 以内に低減することができる。又、後記図27に示す線状加熱による熱曲げ精度において曲げ加工量〔図27（b）〕のバラツキを $\pm 2\text{mm}$ 以内に低減することができる。

## 【0104】

次に、本発明方法における各要件の作用について説明する。本発明の製造方法においては、スラブ加熱温度の温度差（偏差）を $50$ 以下にして加熱した後圧延する必要がある。一般的に鋼材を加熱・圧延すると、鋼材内部では、鋼材の化学成分や加熱条件に応じてオーステナイトの粒成長が起こってオーステナイト粒径が決定され、更に圧延されることによりオーステナイトの再結晶が生じてオーステナイト粒径が微細化される。圧延後においては、鋼材の温度低下に伴ってオーステナイトが変態し、フェライトと呼ばれる組織が生成される。このとき生成するフェライト粒径は変態する前のオーステナイト粒径により大きさがほぼ決定される（オーステナイト粒径が大きいとフェライト粒も大きくなる）。

## 【0105】

スラブ加熱温度（スラブ内温度）は、オーステナイト粒径に影響を及ぼすものであり、本発明者らが種々の検討を行った結果、所定条件下で圧延を行う場合、スラブ内温度偏差を $50$ 以下に制御することによって、変態する前のオーステナイト粒径のバラツキを所定範囲内に収めることができるとの知見が得られた。これに対して、スラブ内温度偏差が $50$ を超えると、オーステナイト粒径のバラツキが大きくなり、変態後のフェライト粒径のバラツキは小さくならなかった。

## 【0106】

上記の条件で加熱・圧延された圧延材は、引き続き定常部温度よりも $30$ 以上低い領域が切断除去される。こうした工程を経ることによって、圧延でのオーステナイト再結晶が同じように生じた領域が採取されることになる。尚、「定常部」とは、圧延で不可避免的に生じる圧延材の先後端と両サイドの温度低下した部分を除く領域を意味しており、定常部温度よりも $30$ 未満の領域では、圧延によるオーステナイトの再結晶の生じ方がほぼ同一なので、フェライトの均一性にそれほど影響を及ぼすことはない。

## 【0107】

上記のようにして、部分的に切断除去された鋼材は、塑性率： $80\%$ 以上、幅方向全面の塑性率バラツキを $2\%$ 以内にして冷間矯正する必要がある。この冷間矯正工程では、フェライト粒内を加工硬化させるという作用によって、フェライト粒の強度のバラツキを低減させ、降伏応力のバラツキを低減させるという効果も発揮される。

## 【0108】

また、この製造方法においては、必要によって、圧延後に平均冷却速度： $3$  / 秒以下で加速冷却することも有用であり、これによって加速冷却で生じる圧延材の板面内におけるフェライト変態の生じ方をほぼ同一なものとし、フェライト粒径の均一性が確保できるという効果が発揮される。

## 【0109】

## （実験例2）

前記表3に示した鋼材を用いると共に、基本的に前記図1～3に示した手順に従い、下記表4に示すスラブ加熱温度（加熱炉抽出時スラブ温度）、圧延仕上げ温度、加熱冷却速度で圧延を完了すると共に、各種条件で製品切断、冷間矯正を行い製品鋼板を得た。尚、表4中、「スラブ加熱温度」のTs1ab, MAXとは、スラブ長手方向端部から $100\text{m}$



mの位置での温度（最高温度）を意味し、 $T_{slab, MIN}$ とはスラブ長手方向のスキッド（載置台）の位置での温度（最低温度）を意味し、 $T_{slab}$ とはこれらの温度差（ $T_{slab, MAX} - T_{slab, MIN}$ ）を意味する。

また、「製品切断」における切断箇所1、2は、鋼板の定常部よりも30以上低くなった切断位置であり、このうち切断箇所1の「TOP」とはスラブ長手方向先端部及び後端部であり、切断箇所2「幅端部」とはスラブ幅方向の両端部を意味する。更に、冷間矯正の位置1～3はスラブ幅方向の3箇所の意味である（後記図22参照）。

【0110】

得られた各鋼板（圧延材）において（No. 1～20）、各測定位置1～9における残留応力、降伏応力YPおよびフェライト粒径を夫々表5～7に示す。また、各鋼板における残留応力パラメータ [前記(1)式]、残留応力の絶対値（残留応力値）、残留応力の偏差を下記表8に示す。

10

【0111】

残留応力、降伏応力YPおよびフェライト粒径を測定した各測定位置1～9を、図22 [図中、L/2は圧延材長手方向（圧延方向）1/2の位置、W/2は圧延材幅方向1/2の位置を意味する]に示す。残留応力パラメータ [前記(1)式]、残留応力の絶対値、残留応力の偏差、残留歪の絶対値および残留歪の偏差を測定した位置（測定位置）を図23 [図中、1/4L、1/2Lおよび3/4Lは、圧延材長手方向（圧延方向）1/4、1/2および3/4の位置を夫々意味する]に示す。表5, 6中、「長手方向 -」は、図22に示した測定位置での各特性の長手方向の差（最大値 - 最小値）であり、「幅方向 -」は各特性の幅方向の差（最大値 - 最小値）である。また、表8中、残留応力の偏差および残留歪の偏差は、図23に示した測定位置での各特性の絶対値の最大値（MAX）と最小値（MIN）の差である。

20

【0112】

【表4】

No.	加熱炉抽出時スラブ温度(°C)		圧延仕上温度 (°C)	加速冷却速度 (°C/sec)	製品切断			冷間矯正塑性率(%)			△塑性率	
	Tslab,MAX	Tslab,MIN			△Tslab	切断箇所1	切断箇所2	切断量(mm)	位置1	位置2		位置3
1	1080	1050	30	780	1.5	TOP	幅端部	50	81	82	82	1
2	1060	1010	50	780	2.7	TOP	幅端部	750	88	87	89	2
3	1050	1040	10	780	0.5	TOP	幅端部	900	85	86	87	2
4	1065	1025	40	780	2.1	TOP	幅端部	750	90	92	91	2
5	1100	1080	20	760	0.9	TOP	幅端部	500	92	90	90	2
6	1075	1025	50	760	1.3	TOP	幅端部	750	80	81	81	1
7	1080	1070	10	760	2.9	TOP	幅端部	450	82	80	81	2
8	1075	1030	45	800	3.0	TOP	幅端部	750	85	85	85	0
9	1055	1005	50	800	0.9	TOP	幅端部	800	81	81	80	1
10	1060	1040	20	800	1.0	TOP	幅端部	550	87	86	85	2
11	1060	930	130	780	2.2	TOP	幅端部	750	83	82	82	1
12	1050	1005	45	780	1.4	TOP	幅端部	750	85	89	92	7
13	970	880	90	780	0.7	TOP	幅端部	300	矯正せず	矯正せず	矯正せず	—
14	1060	1015	45	780	1.2	TOP	幅端部	300	79	79	81	2
15	1100	1060	40	780	4.6	TOP	幅端部	750	78	77	77	1
16	1085	1020	65	760	1.3	TOP	幅端部	750	80	84	82	4
17	1100	1020	80	760	0.9	TOP	幅端部	750	75	72	71	4
18	1065	1020	45	800	1.3	TOP	幅端部	300	79	79	81	2
19	1050	995	55	800	2.1	TOP	幅端部	500	79	81	79	2
20	1070	1030	40	800	5.0	TOP	幅端部	650	75	77	76	2

10

20

30

40

50

【表 5】

No.	板内残留応力 (MPa)										幅方向 残留応力
	位置1	位置2	位置3	位置4	位置5	位置6	位置7	位置8	位置9	長手方向 残留応力	
1	-9.8	5.2	-4.5	-2.0	5.5	8.9	4.5	-4.9	-8.0	18.7	18.7
2	0.5	4.0	-2.0	-6.7	8.0	9.3	-2.0	-2.4	-1.0	16.0	16.0
3	-9.3	0.3	0.5	-0.9	1.7	7.7	-8.5	3.5	7.0	17.0	17.0
4	8.0	2.3	-4.9	-6.9	4.0	7.2	-2.0	-6.9	9.2	16.1	16.1
5	-2.7	0.9	2.6	-6.0	5.0	0.4	0.2	-8.0	4.0	13.0	13.0
6	9.9	7.0	-10.0	-3.0	4.8	2.0	-0.5	-8.0	-4.0	19.9	19.9
7	0.6	0.5	0.2	-1.0	-2.6	-0.6	1.8	2.9	-5.0	7.9	7.9
8	0.5	0.9	-0.6	-2.0	6.9	3.0	-8.3	-4.2	0.9	15.2	15.2
9	3.7	5.0	-6.0	-9.6	5.9	2.0	-9.0	-4.7	3.9	15.5	15.5
10	-9.9	-5.2	0.0	0.6	0.9	1.2	-4.2	-0.3	0.0	11.1	11.1
11	0.0	2.0	-3.0	6.2	9.3	-8.0	2.0	0.6	-1.6	17.3	17.3
12	0.2	3.5	-30.0	-4.0	5.0	-23.0	2.5	0.6	-15.0	35.0	35.0
13	-200.0	22.2	-165.0	-190.0	15.0	-182.4	-193.2	15.0	-180.0	222.2	222.2
14	-9.4	7.2	-8.0	-11.4	8.5	-9.6	-8.0	12.5	-4.0	23.9	23.9
15	-11.0	5.0	-2.0	-9.0	5.5	-9.4	-5.8	12.0	-9.4	23.0	23.0
16	-12.3	9.4	-8.0	-10.5	6.0	-8.0	-12.9	4.0	-9.0	22.3	22.3
17	-22.4	9.8	-40.0	-16.0	12.0	-4.0	-20.0	14.0	-8.0	54.0	54.0
18	-0.5	12.0	-2.5	-9.1	5.7	-7.4	-10.5	5.0	-9.4	22.5	22.5
19	-0.3	11.2	-2.7	-3.0	8.0	-4.7	-9.4	9.8	-10.5	21.7	21.7
20	-30.0	15.6	-20.1	-28.0	16.9	-25.0	-24.5	12.8	-19.7	46.9	46.9

10

20

30

40

【 0 1 1 4 】

【表 6】

No.	板内YP (MPa)										長手方向∠YP	幅方向∠YP
	位置1	位置2	位置3	位置4	位置5	位置6	位置7	位置8	位置9	位置9		
1	383	392	396	391	397	411	394	389	409	409	28	28
2	413	407	392	381	399	415	392	407	405	405	34	34
3	391	394	386	413	407	417	392	387	391	391	31	31
4	399	399	415	411	389	397	409	401	396	396	26	26
5	403	435	427	403	409	414	423	421	417	417	32	32
6	404	401	417	419	435	412	407	423	433	433	34	34
7	412	404	407	421	419	417	409	423	400	400	23	23
8	397	377	385	381	369	367	363	371	397	397	34	34
9	360	363	376	391	400	387	367	376	364	364	40	40
10	395	385	381	369	366	361	374	376	383	383	34	34
11	480	485	492	389	380	376	379	385	382	382	116	116
12	481	390	475	469	371	490	482	382	486	486	119	119
13	495	479	500	400	380	392	398	382	391	391	120	120
14	490	483	495	382	370	378	385	360	390	390	135	135
15	546	530	549	490	459	493	485	435	484	484	114	114
16	440	418	430	409	401	395	399	402	380	380	60	60
17	460	441	439	408	411	420	389	399	408	408	71	71
18	427	410	411	380	374	382	370	376	382	382	57	57
19	400	372	390	360	355	387	367	360	364	364	45	45
20	580	573	586	462	450	459	462	469	470	470	136	136

【 0 1 1 5 】

【 表 7 】

10

20

30

40

No.	フェライト粒径 ( $\mu\text{m}$ )									平均値
	位置1	位置2	位置3	位置4	位置5	位置6	位置7	位置8	位置9	
1	10.0	9.4	9.2	9.5	9.1	8.4	9.3	9.6	8.5	9.2
2	8.3	8.6	9.4	10.1	9.0	8.2	9.4	8.6	8.7	8.9
3	9.5	9.3	9.8	8.3	8.6	8.1	9.4	9.7	9.5	9.1
4	9.0	9.0	9.2	8.4	9.6	9.1	8.5	8.9	9.2	8.9
5	8.8	7.3	7.6	8.8	8.5	8.2	7.6	7.9	8.1	8.1
6	8.7	8.9	8.1	8.0	7.3	8.3	8.6	7.8	7.4	8.1
7	8.3	8.7	8.6	7.9	8.0	8.1	8.5	7.8	9.0	8.3
8	9.1	10.3	9.9	10.1	11.0	11.1	11.4	10.8	9.1	10.3
9	11.7	11.4	10.5	9.5	9.0	9.7	11.1	10.5	11.3	10.5
10	9.3	9.9	10.1	11.0	11.2	11.6	10.6	10.5	10.0	10.5
11	5.8	5.6	5.4	9.6	10.2	10.4	10.2	9.8	10.0	8.5
12	5.7	9.5	5.9	6.1	10.8	5.5	5.7	10.0	5.6	7.2
13	5.4	5.6	5.2	9.0	10.2	9.4	9.1	10.0	9.5	8.2
14	5.5	5.7	5.4	10.0	10.9	10.3	9.8	11.7	9.5	8.6
15	4.3	4.6	4.2	5.5	6.4	5.4	5.6	7.3	5.6	5.4
16	7.1	8.0	7.5	8.5	8.9	9.2	9.0	8.8	10.2	8.6
17	6.4	7.1	7.1	8.5	8.4	7.9	9.6	9.0	8.5	8.1
18	7.6	8.4	8.4	10.2	10.6	10.0	10.9	10.4	10.0	9.6
19	9.0	10.7	9.5	11.7	12.1	9.7	11.1	11.7	11.3	10.8
20	3.7	3.8	3.6	6.3	6.7	6.4	6.3	6.1	6.1	5.4

10

20

【 0 1 1 6 】

【 表 8 】

No.	(1)式の値	残留応力の絶対値(MPa)		残留応力の偏差(MPa)	残留歪の絶対値		残留歪の偏差
		MIN	MAX		MIN	MAX	
1	0.008232	3.9	15.7	11.8	1.9E-05	7.6E-05	5.7E-05
2	0.145432	8.6	29.4	38.0	4.2E-05	1.4E-04	1.8E-04
3	0.282224	4.9	25.5	30.4	2.4E-05	1.2E-04	1.4E-04
4	0.36848	3.9	26.5	22.6	1.9E-05	1.3E-04	1.1E-04
5	-0.00784	11.8	28.4	40.2	5.7E-05	1.4E-04	2.0E-04
6	-0.01176	2.9	16.7	13.8	1.4E-05	8.1E-05	6.7E-05
7	-0.01176	3.9	27.4	23.5	1.9E-05	1.3E-04	1.1E-04
8	0.34104	1.0	24.5	23.5	4.8E-06	1.2E-04	1.2E-04
9	0.18424	6.9	19.6	26.5	3.3E-05	9.5E-05	1.3E-04
10	0.30184	4.9	28.4	33.3	2.4E-05	1.4E-04	1.6E-04
11	-3.5672	76.4	118.6	42.2	3.7E-04	5.8E-04	2.1E-04
12	-5.48408	116.6	156.8	273.3	5.7E-04	7.6E-04	1.3E-03
13	-7.91448	175.4	245.0	69.6	8.5E-04	1.2E-03	3.5E-04
14	-3.08504	58.8	100.0	158.8	2.9E-04	4.9E-04	7.8E-04
15	-8.78864	197.0	247.0	50.0	9.6E-04	1.2E-03	2.4E-04
16	-4.48448	98.0	126.4	224.4	4.8E-04	6.1E-04	1.1E-03
17	-5.2724	98.0	155.8	57.8	4.8E-04	7.6E-04	2.8E-04
18	-3.42216	51.0	156.8	105.8	2.5E-04	7.6E-04	5.1E-04
19	-8.02424	127.4	254.8	127.4	6.2E-04	1.2E-03	5.8E-04
20	-5.36648	78.4	196.0	274.0	3.8E-04	9.5E-04	1.3E-03

10

20

30

40

50

## 【0117】

これらの結果から明らかなように、本発明の要件を満足する実施例のもの(No. 1~10)では、降伏応力及び残留応力のバラツキが極力低減されていることが分かる。これに対して、本発明で規定する要件のいずれかを欠く比較例では、特性の均一化が達成されていない。

## 【0118】

(実験例3)

前記表4~7に示したNo. 1~20の鋼材を用い、曲げ加工性について調査した。まずNo. 1~5、11~15のものについて、図24(a)に示すように鋼板を上下3つからなるロール間に挟んで機械曲げ加工を行い、曲げ加工後の長手方向の収縮量(L2-L

1) [図24(b)]を測定すると共に、曲げ加工後の幅方向の曲げ加工量  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  [図24(c)]のパラツキ  $[\max(\delta_1, \delta_2, \delta_3) - \min(\delta_1, \delta_2, \delta_3)]$  について測定した。機械曲げにおける長手方向の収縮量の測定結果を図25に、幅方向の曲げ加工量のパラツキを図26に夫々示す。

【0119】

次に、No. 6 ~ 10、16 ~ 20のものについて、図27(a)に示すように鋼板に対して線状加熱曲げを行い、曲げ加工後の幅方向の曲げ加工量  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  [図27(b)]のパラツキ  $[\max(\delta_1, \delta_2, \delta_3) - \min(\delta_1, \delta_2, \delta_3)]$  について測定した。線状加熱曲げにおける幅方向の曲げ加工量のパラツキを図28に示す。

【0120】

これらの結果から明らかなように、本発明の要件を満足する実施例のもの (No. 1 ~ 10) では、機械曲げや熱曲げ等の加工の際に加工量のパラツキが極力低減されていることが分かる。これに対して、本発明で規定する要件のいずれかを欠く比較例では、加工量の均一化が達成されていない。

【0121】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の鋼板によれば、需要家における加工情報、例えば加工条件、加工方法、加工形状及び加工精度の許容値に応じて、鋼板の特性、例えば鋼板の残留歪、残留応力、変位又は変形量の最大値、最小値、平均値、総和、偏差、絶対値又は分布、又はこれらから演算されるパラメータの値が一定の許容範囲内となるように制御されているので、需要家における切断加工後の変形を予測することが可能となる。また、降伏応力のパラツキについても極力低減されているので、良好な加工性が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態における鋼板製造装置の構成を示す図である。

【図2】上記鋼板製造装置における矯正条件設定プログラムを示すフローチャートである。

【図3】図2のフローチャートの続きである。

【図4】切断後の鋼板の変形量と応力パラメータ  $\sigma$  の関係を求めた結果を示す図である。

【図5】(a)は切断領域の形状がT字型の場合、(b)は切断領域の形状が矩形の場合を示す図である。

【図6】長手方向残留応力の板厚方向の平均値が零である鋼板についての、長手方向残留応力の板厚方向の分布を示す図である。

【図7】長手方向残留応力の板厚方向の平均値が零である鋼板についての、板厚と鋼板表面の長手方向残留応力の関係を示す図である。

【図8】板厚と製造方法及び鋼板のグレードに応じた表面の残留応力の補正值の関係を示す図である。

【図9】試験片の長手方向における中央位置近傍でかつ幅方向における複数の位置で測定した長手方向残留応力分布を示す図である。

【図10】試験片長さ  $L$  と残留応力の補正係数  $K$  の関係を示す図である。

【図11】切断方法による変形量の違いを熱弾塑性 FEM により解析した結果を示す図である。

【図12】切断方法に応じた応力パラメータ  $\sigma$  の補正值を示す図である。

【図13】鋼板の切断形状の一例を示す図である。

【図14】鋼板の残留応力値と切断加工時の変形  $\Delta$  の関係を弾性解析により求めた結果を示す図である。

【図15】鋼板の残留応力偏差 (最大値 - 最小値) と切断後の変形量  $\Delta$  の関係を示す図である。

【図16】切断方法に応じた残留応力値の補正值を示す図である。

【図17】鋼板の残留歪みと切断加工時の変形  $\Delta$  の関係を弾性解析により求めた結果を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 8】鋼板の残留歪み偏差（最大値 - 最小値）と切断後の変形量の関係を示す図である。

【図 1 9】切断方法に応じた残留歪み値の補正值を示す図である。

【図 2 0】本発明による鋼板と従来の鋼板を比較した際における鋼板の切断形状を示す図である。

【図 2 1】上記切断実験の結果を示す図である。

【図 2 2】測定位置 1 ~ 9 を説明するための図である。

【図 2 3】残留応力パラメータ、残留応力の絶対値、残留応力の偏差、残留歪の絶対値および残留歪の偏差を測定した位置（測定位置）を説明するための図である。

【図 2 4】機械曲げ加工を説明するために図である。

10

【図 2 5】機械曲げにおける長手方向の収縮量の測定結果を示すグラフである。

【図 2 6】機械曲げにおける幅方向の曲げ加工量のバラツキを示すグラフである。

【図 2 7】線状加熱曲げを説明するための図である。

【図 2 8】線状加熱曲げにおける幅方向の曲げ加工量のバラツキを示すグラフである。

【符号の説明】

1：加熱炉

2：第 1 圧延装置

3：冷却装置

4：第 2 圧延装置

5：加速冷却装置

20

6：熱間矯正装置

7：温度計

8：鋼板

9：熱処理炉

10：矯正装置（ローラレベラ）

11：パルス発生装置（PLG）

12：デジタルダイレクトコントローラ（DDC）

13：プロセスコンピュータ

14：ラインコンピュータ

15：サーバコンピュータ

30

16：キャンパ予測コンピュータ

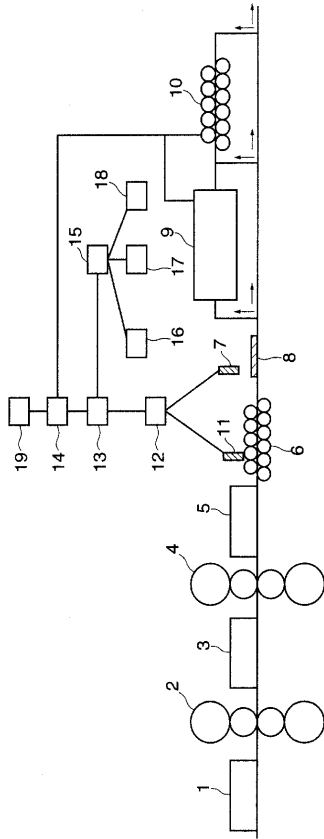
17：座屈予測コンピュータ

18：変形予測コンピュータ

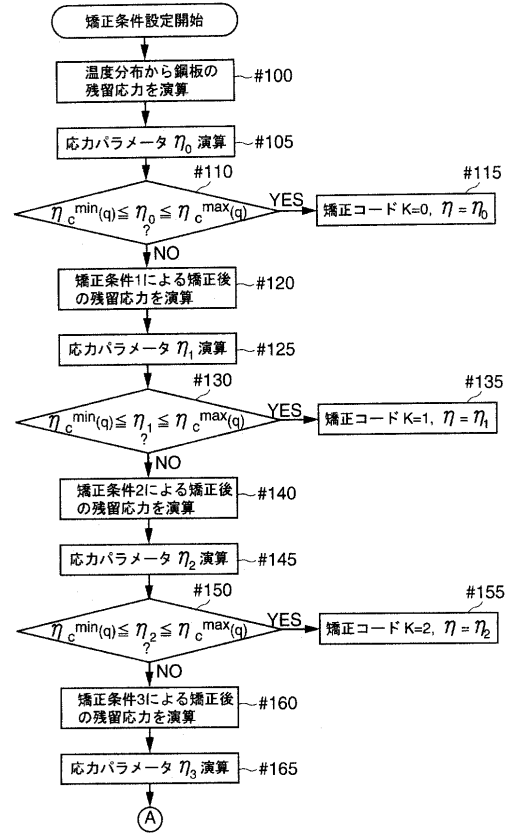
19：ホストコンピュータ



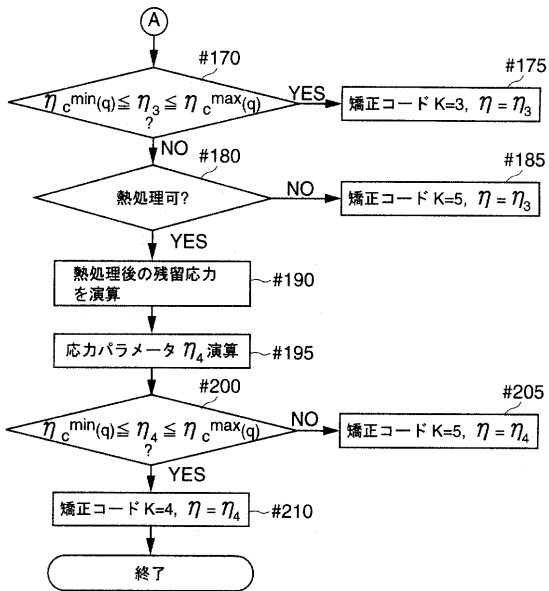
【図1】



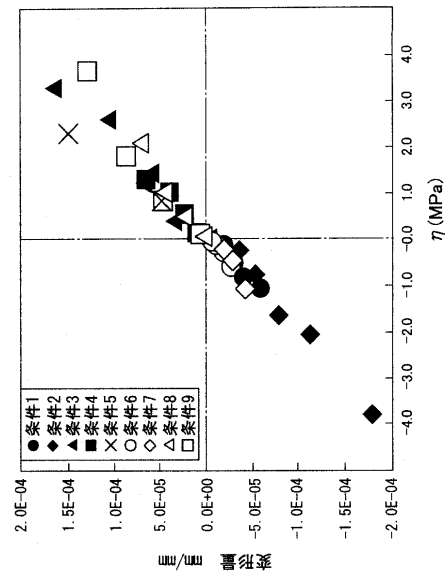
【図2】



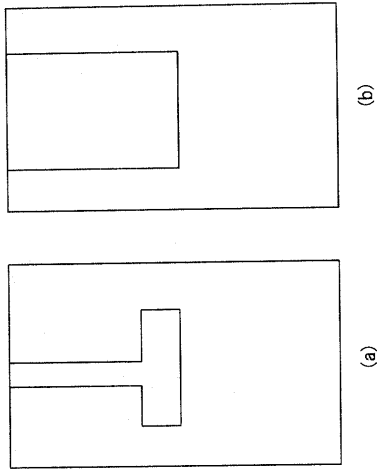
【図3】



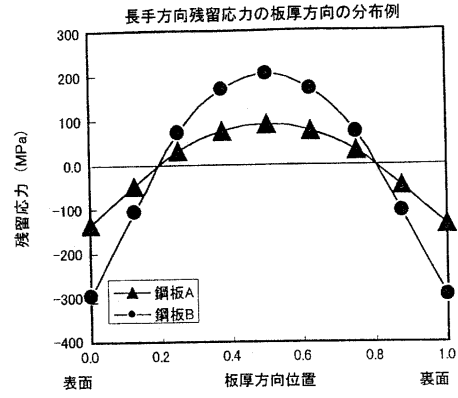
【図4】



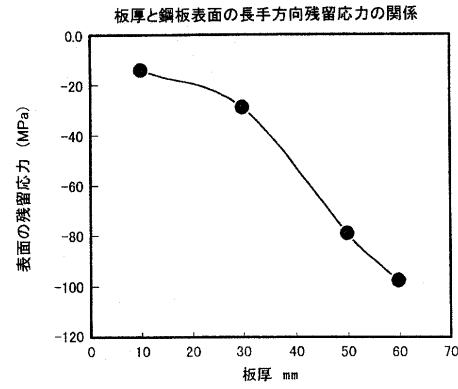
【 図 5 】



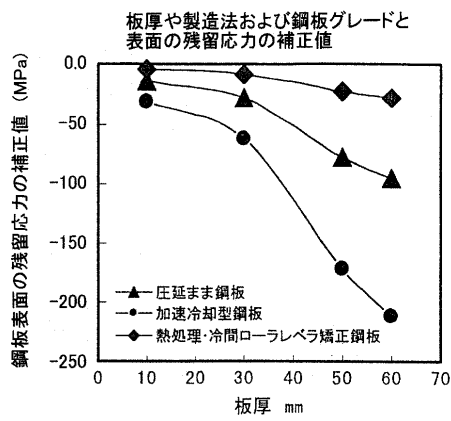
【 図 6 】



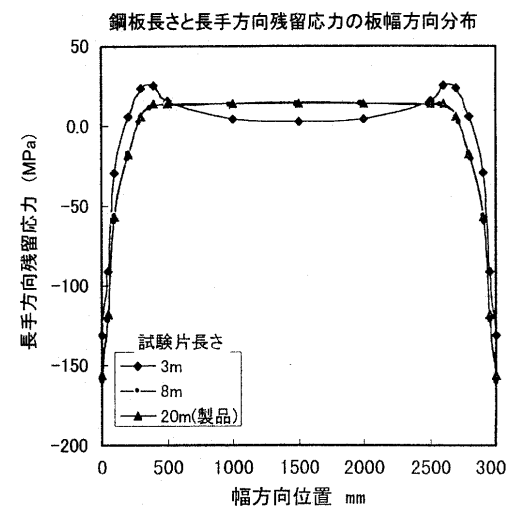
【 図 7 】



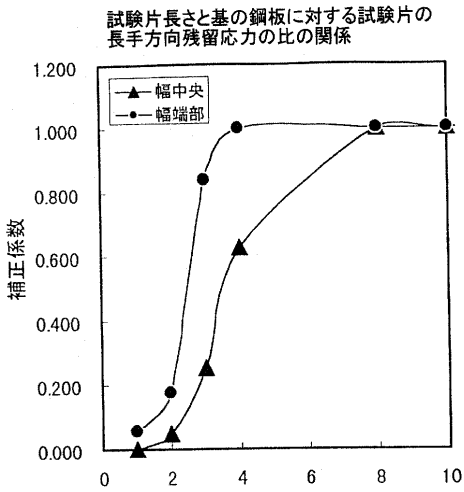
【 図 8 】



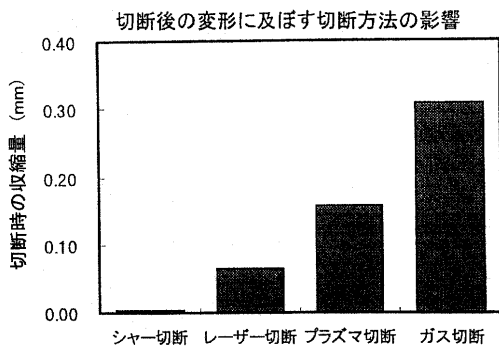
【 図 9 】



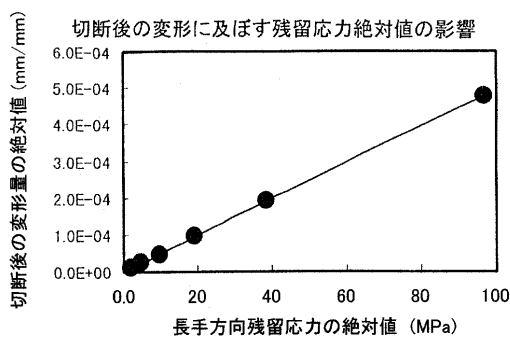
【 図 1 0 】



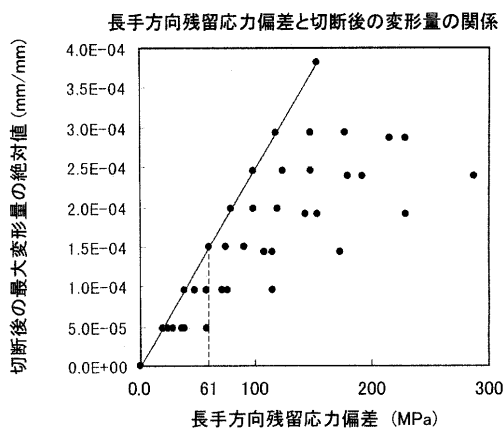
【 図 1 1 】



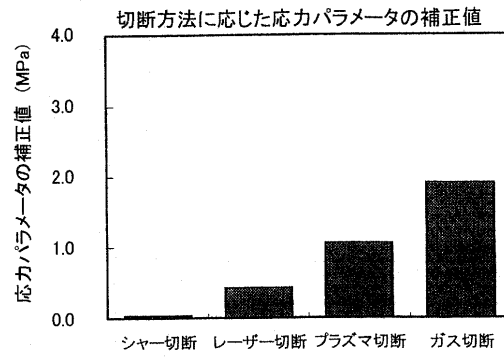
【 図 1 4 】



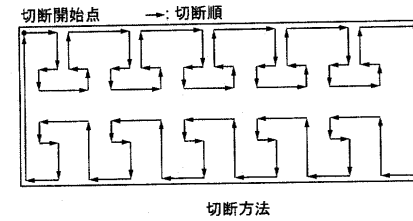
【 図 1 5 】



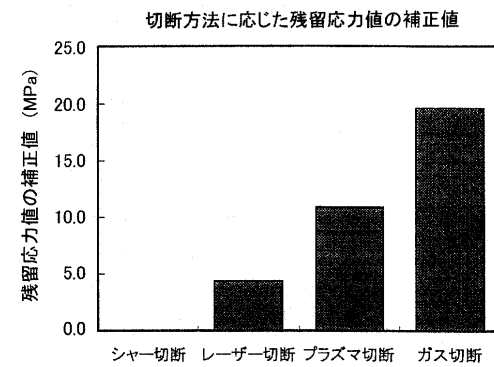
【 図 1 2 】



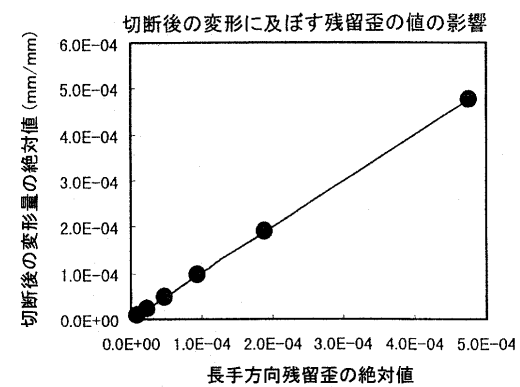
【 図 1 3 】



【 図 1 6 】

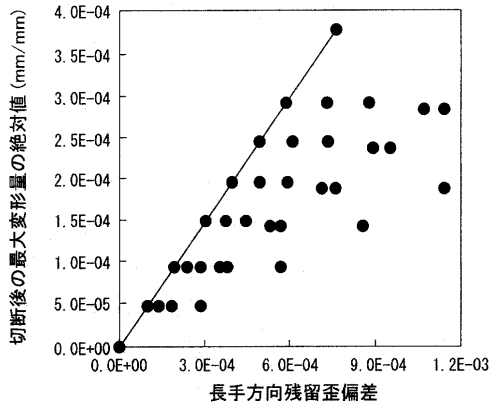


【 図 1 7 】



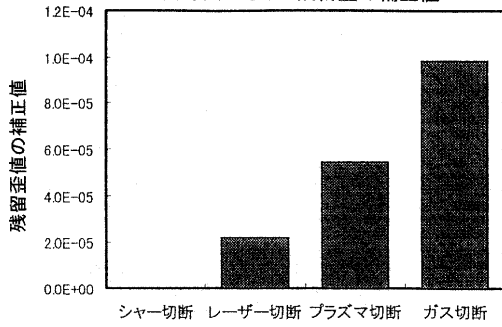
【 図 18 】

長手方向残留歪偏差と切断後の変形量の関係



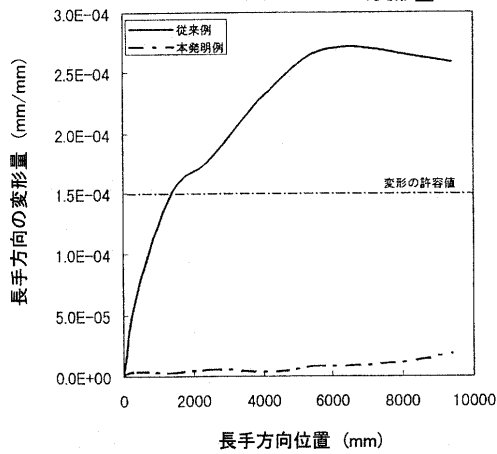
【 図 19 】

切断方法に応じた残留歪の補正值

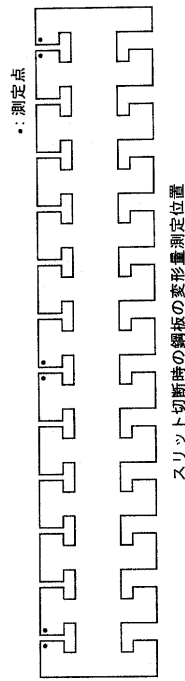


【 図 21 】

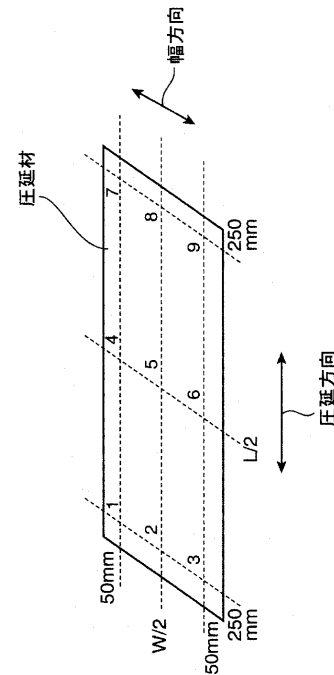
スリット切断時の長手方向変形量



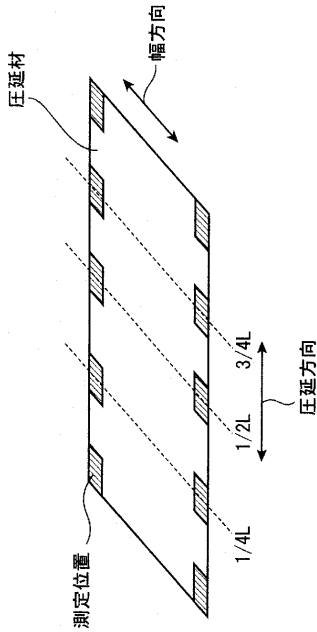
【 図 20 】



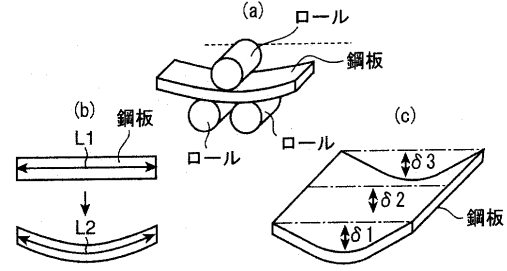
【 図 22 】



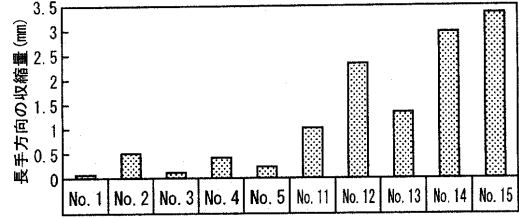
【図 2 3】



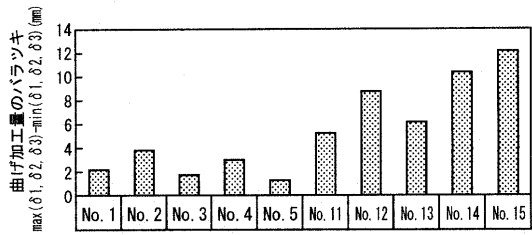
【図 2 4】



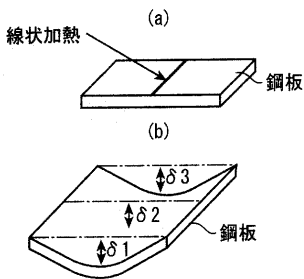
【図 2 5】



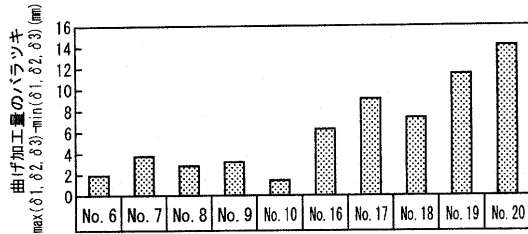
【図 2 6】



【図 2 7】



【図 2 8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 小林 洋一郎

兵庫県加古川市金沢町1番地 株式会社神戸製鋼所加古川製鉄所内

Fターム(参考) 4E003 AA01 BA22

4E024 BB08 BB09 FF10