

(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2021-195577
(P2021-195577A)

(43) 公開日 令和3年12月27日(2021. 12. 27)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 1 D 9/04 (2006.01)	C 2 1 D 9/04 A	4 K O 3 4
C 2 1 D 11/00 (2006.01)	C 2 1 D 11/00 1 O 4	4 K O 3 8
C 2 1 D 1/00 (2006.01)	C 2 1 D 9/04 B	4 K O 4 2
G O 1 N 19/00 (2006.01)	C 2 1 D 1/00 1 1 9	
	G O 1 N 19/00 G	

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2020-100895 (P2020-100895)
(22) 出願日 令和2年6月10日(2020.6.10)

(71) 出願人 000001258
J F E スチール株式会社
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(74) 代理人 100103850
弁理士 田中 秀▲てつ▼
(74) 代理人 100105854
弁理士 廣瀬 一
(74) 代理人 100116012
弁理士 宮坂 徹
(74) 代理人 100066980
弁理士 森 哲也
(72) 発明者 大須賀 顕一
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
F E スチール株式会社内

最終頁に続く

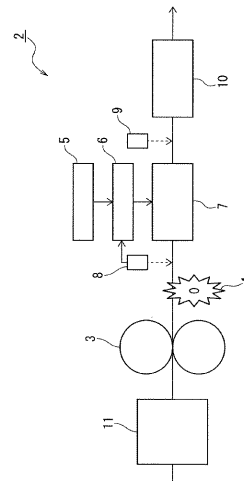
(54) 【発明の名称】 熱処理レールの硬度予測方法、熱処理方法、硬度予測装置、熱処理装置、製造方法、製造設備、並びに、硬度予測モデルの生成方法

(57) 【要約】

【課題】 安定した硬度分布を有するレールの熱処理を可能とする。

【解決手段】 オーステナイト域温度以上のレールを冷却設備7で強制冷却した後のレールの硬度を予測する。冷却開始前のレールの表面温度と冷却設備7の操作条件とを少なくとも有する冷却条件データセットを入力データとし、強制冷却後のレールの内部の硬度を出力データとして演算するモデルを用いて、冷却条件データセットと硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、取得する。取得した複数組の学習用データを用いた機械学習により、冷却条件データセットを少なくとも入力データとし強制冷却後のレール内部の硬度に関する情報を出力データとする硬度予測モデルを予め生成する。硬度予測モデルを用いて、強制冷却の冷却条件として設定された一組の冷却条件データセットに対するレール内部の硬度からレールの硬度を予測する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

オーステナイト域温度以上の温度となっているレールを冷却設備で強制冷却する熱処理工程後の上記レールの硬度を予測するレールの硬度予測方法であって、

冷却開始前のレールの表面温度と強制冷却のための上記冷却設備の操業条件とを少なくとも有する冷却条件データセットを入力データとして、上記強制冷却後のレールの少なくともレール頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを用いて、上記冷却条件データセットと上記硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、取得しておく、

取得した複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強制冷却後のレール内部の硬度に関する情報を出力データとする硬度予測モデルを予め生成し、

上記硬度予測モデルを用いて求められる、上記熱処理工程の冷却条件として設定される一組の冷却条件データセットに対するレール内部の硬度に関する情報に基づき、上記熱処理工程後のレールの硬度を予測する、

ことを特徴とする熱処理レールの硬度予測方法。

【請求項 2】

上記内部硬度演算モデルを用いて演算される出力データは、少なくともレール表面から予め設定した深さまでの領域における硬度分布であることを特徴とする請求項 1 に記載した熱処理レールの硬度予測方法。

【請求項 3】

上記内部硬度演算モデルは、

上記冷却設備を用いた熱処理の際のレール表面の熱伝達係数を計算する熱伝達係数計算部と、

上記熱伝達係数計算部が算出した熱伝達係数を境界条件として、上記熱処理による上記レール内部温度履歴計算を行う熱伝導計算部と、

上記熱伝導計算部が算出した温度履歴計算に基づくレール内部の温度分布から、相変態を考慮したレール内部の組織予測を行う組織計算部と、

上記組織計算部が算出したレール内部の組織予測に基づくレール内部の組織分布から、レール内部の硬度を算出する硬度計算部と、

を備えることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載した熱処理レールの硬度予測方法。

【請求項 4】

オーステナイト域温度以上の温度になっているレールを冷却設備で強制冷却する熱処理工程を有する熱処理レールの熱処理方法であって、

冷却開始前のレールの表面温度を測定し、

上記冷却設備でのレールの冷却開始前に、測定したレールの表面温度を用いて、請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか 1 項に記載の熱処理レールの硬度予測方法によって、レール内部の硬度を予測し、

予測したレール内部の硬度が目標とする硬度の範囲外の場合、予測したレール内部の硬度が目標とする硬度の範囲内に収まるように、上記冷却設備の操業条件を再設定することを特徴とする熱処理レールの熱処理方法。

【請求項 5】

上記再設定する冷却設備の操業条件は、上記冷却設備でレールに向けて噴射される冷却媒体の噴射圧力、噴射距離、噴射位置、及び噴射時間のうち、少なくとも一つの操業条件を含むことを特徴とする請求項 4 に記載した熱処理レールの熱処理方法。

【請求項 6】

上記冷却設備は、冷却対象のレールの長手方向に沿って配置された複数の冷却ゾーンを有し、

上記冷却設備の操業条件の再設定は、その各冷却ゾーン毎に個別に操業条件の再設定を

10

20

30

40

50

実行することを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 に記載した熱処理レールの熱処理方法。

【請求項 7】

オーステナイト域温度以上の温度となっているレールを冷却設備で強制冷却した後の上記レールの硬度を、上記冷却設備での冷却開始前のレールの表面温度と強制冷却のための上記冷却設備の操業条件とを少なくとも有する冷却条件データセットから求めるための硬度予測モデルの生成方法であって、

上記冷却条件データセットを入力データとして、上記強制冷却後のレールの少なくともレール頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを用いて、上記冷却条件データセットと上記硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、取得し、

取得した複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強制冷却後のレール内部の硬度に関する情報を出力データとする硬度予測モデルを予め生成する、

ことを特徴とする硬度予測モデルの生成方法。

【請求項 8】

上記内部硬度演算モデルを用いて演算される出力データは、少なくともレール表面から予め設定した深さまでの領域における硬度分布であることを特徴とする請求項 7 に記載した硬度予測モデルの生成方法。

【請求項 9】

上記硬度予測モデルは、ニューラルネットワークモデル、ランダムフォレスト、又は SVM 回帰で学習されたモデルであることを特徴とする請求項 7 又は請求項 8 に記載した硬度予測モデルの生成方法。

【請求項 10】

請求項 4 ~ 請求項 6 のいずれ 1 項に記載の熱処理レールの熱処理方法を有する、熱処理レールの製造方法。

【請求項 11】

オーステナイト域温度以上の温度となっているレールを冷却設備で強制冷却する熱処理工程後の上記レールの硬度を予測するレールの硬度予測装置であって、

冷却開始前のレールの表面温度と強制冷却のための上記冷却設備の操業条件とを少なくとも有する冷却条件データセットを入力データとして、上記強制冷却後のレールの少なくともレール頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを用いて演算した、上記冷却条件データセットと上記硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、格納しているデータベースと、

上記複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強制冷却後のレール内部の硬度に関する情報を出力データとする硬度予測モデルを生成する硬度予測モデル生成部と、

冷却開始前のレールの表面温度を測定する温度計と、

上記温度計が測定した測定値と上記硬度予測モデルを用いて、上記熱処理工程の冷却条件として設定される一組の冷却条件データセットに対するレール内部の硬度に関する情報に基づき、上記熱処理工程後のレールの硬度を予測する硬度予測部と、

を備えることを特徴とする熱処理レールの硬度予測装置。

【請求項 12】

上記内部硬度演算モデルを用いて演算される出力データは、少なくともレール表面から予め設定した深さまでの領域における硬度分布であることを特徴とする請求項 11 に記載した熱処理レールの硬度予測装置。

【請求項 13】

上記内部硬度演算モデルは、

上記冷却設備を用いた熱処理の際のレール表面の熱伝達係数を計算する熱伝達係数計算部と、

上記熱伝達係数計算部が算出した熱伝達係数を境界条件として、上記熱処理による上記

10

20

30

40

50

レール内部の温度履歴計算を行う熱伝導計算部と、

上記熱伝導計算部が算出した温度履歴計算に基づくレール内部の温度分布から、相変態を考慮したレール内部の組織予測を行う組織計算部と、

上記組織計算部が算出したレール内部の組織予測に基づくレール内部の組織分布から、レール内部の硬度を算出する硬度計算部と、

を備えることを特徴とする請求項 1 1 又は請求項 1 2 に記載した熱処理レールの硬度予測装置。

【請求項 1 4】

オーステナイト域温度以上の温度になっているレールを冷却設備で強制冷却する熱処理工程を有するレールの熱処理装置であって、

上記冷却設備でのレールの冷却開始前に、請求項 1 1 ~ 請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の熱処理レールの硬度予測装置によって、レール内部の硬度を予測する硬度予測部と、

上記硬度予測部が予測したレール内部の硬度が目標とする硬度の範囲外の場合、予測したレール内部の硬度が目標とする硬度の範囲内に収まるように、上記冷却設備の操作条件を再設定する操作条件再設定部と、

を備えることを特徴とする熱処理レールの熱処理装置。

【請求項 1 5】

上記再設定する冷却設備の操作条件は、上記冷却設備でレールに向けて噴射される冷却媒体の噴射圧力、噴射距離、噴射位置、及び噴射時間のうち、少なくとも一つの操作条件を含むことを特徴とする請求項 1 4 に記載した熱処理レールの熱処理装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 4 又は請求項 1 5 に記載の熱処理レールの熱処理装置を備える熱処理レールの製造設備。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、オーステナイト域温度以上の高温のレールに対し強制冷却を実行する熱処理工程を有する熱処理レールの製造に関する技術である。本発明は、特に、オーステナイト域温度以上に加熱されたレールを強制冷却して、少なくともレール頭部が硬度の均一性に優れたレールとする輸送用鉄道用の熱処理レールの製造に好適な技術である。

【背景技術】

【0002】

熱間圧延で製造されるレールには、オーステナイト域温度以上で圧延が終了した直後、又は圧延・放冷後に再加熱してオーステナイト域温度以上の温度とした後に、当該オーステナイト域温度以上のレールに対し、硬度や靱性等の品質を向上させる目的で、強制冷却（熱処理工程）を実行する場合がある。本明細書では、熱処理工程を経て製造されるレールを熱処理レールとも記載する。

【0003】

特に、天然資源採掘現場で用いられる輸送用鉄道では、一般的な旅客用鉄道と比べて貨車の積載量が大きい。このためレールの摩耗が激しく、頻繁にレールの交換が必要となる。しかし、レールの交換は、作業コストや交換品のコスト増加だけでなく、路線の稼働率も低下させることに繋がる。このため、レール交換の頻度を抑えたいという要望がある。つまり、より耐摩耗性の高いレールの使用が求められている。

【0004】

高耐摩耗性のレールを得るためには、レール表面から所定深さまでの断面内部（以降、単に「内部」とも記載する）の硬度分布が、所定の硬度値よりも高いことが求められると共に、その領域の結晶組織は、パーライト組織であることが望ましい。その理由として、ベイナイト組織ではパーライト組織と同一硬度であっても耐摩耗性が低く、またマルテンサイト組織では靱性が低くなってしまいうためである。

【0005】

パーライト組織を高硬度化するには、組織を構成するフェライトとセメンタイトの層（ラメラ）の間隔を微細にすることが効果的である。そして、微細なラメラを得るためには、平衡変態温度よりも十分低い温度まで高い冷却速度（冷速）で冷却した過冷却状態において変態を進行させる必要がある。ただし、冷速が過大な場合にはベイナイト組織やマルテンサイト組織に変態してしまい、特性が悪化してしまうおそれがある。また一般にレールは、品質上最も重要なレール頭部表面を中心に冷却処理が実行されるが、レール頭部は最も質量が集中している部分であるため、レール頭部においては、冷却中は表面と内部で大きな温度差が発生する傾向にある。そのため、レール頭部では、変態開始時刻も表面と内部で差が生じることから、その時間差に合わせた冷却能力の制御によって内部の組織制御を行う必要がある。

10

【0006】

熱処理レールの冷却制御のための技術としては、例えば特許文献1に記載の技術がある。特許文献1には、750以上の温度域から、4～15 / 秒の冷却速度で600～450まで強制冷却を行う第1の強制冷却と、その後、強制冷却を一時的に停止してパーライト変態を終了させた後、再度強制冷却を行う方法が開示されている。

【0007】

また、特許文献2には、冷却開始から変態発熱の開始タイミングや終了タイミングをレール表面の温度測定結果に基づき判定しながら、強制冷却の条件を変更する方法が開示されている。

20

【0008】

更に、特許文献3には、予め設定されたレール内部の代表点における硬度と、炭素当量、冷却媒体の噴射流量、噴射圧力、噴射距離の関係式を用いて、レール素材となる鋼片の炭素当量に基づいて冷却ノズルとレール頭部間の噴射距離を設定すると共に、冷却設備入側で測定されたレール頭頂部の表面温度（冷却開始前の表面温度）から冷却時間を設定する方法が開示されている。

【0009】

一方、特許文献4には、制御装置内のプロセスモデルとして、数値的、機械的、冶金的な埋め込み型モデルを有して、レール内部の温度履歴とミクロ組織変化、及び機械的性質を予測し、その予測結果に基づき冷却ゾーン毎の冷却条件を設定する方法が開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特許第4938158号公報

【特許文献2】特許第5686231号公報

【特許文献3】特開昭61-149436号公報

【特許文献4】特許第6261570号公報

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】伝熱工学資料[改訂第5版] 日本機械学会(2009)

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

特許文献1に記載の方法は、加熱されたレールの強制冷却条件として、第1の強制冷却の開始と終了、及び第2の強制冷却の開始と終了の各条件を規定するものである。しかし、特許文献1に記載のような方法で冷却条件を事前に設定する場合、レール素材の鋼片の成分ばらつきや、冷却開始温度などにばらつきが生じると、熱処理後のレールの内部硬度にばらつきが生じるという課題がある。

【0013】

一方、特許文献2に記載の方法は、強制冷却中のレール表面の温度測定結果に基づいて

50

冷却条件を変更する点で、素材のばらつきや冷却開始温度などの変動要因の影響を考慮可能な方法である。しかし、特許文献2に記載の方法では、冷却条件の変更はあくまでレール頭部の表面温度に基づいて行うものであり、必ずしもレール内部の温度変化や組織変化を反映した冷却条件の変更とはならない、という課題がある。例えば、レール内部では、熱伝導による温度変化と変態による温度変化とが同時に発生し、時間の経過とともに各位置の温度や変態が生じる位置が変化する。このため、表面温度の測定結果だけから内部の組織分布まで推定することは困難である。

【0014】

また、特許文献3に記載された方法は、レール頭部の表面から10mm内部に入った位置における硬度を物理モデルによる簡易式で予測するため、レール内部の硬度と冷却条件とを関連付けることが可能である。しかし、レール内部の組織形成は、冷却媒体によるレール頭部表面での熱伝達挙動、レール内部での熱伝導挙動、変態による組織変化や変態発熱が複雑に影響しあうため、簡易式によってレール内部の硬度予測を正確に行うことは困難である。また、レール内部の硬度は分布することになるため、特定位置の硬度を制御するだけでは品質を確保するという観点からも十分とはいえない。

【0015】

特許文献4の技術は、レール鋼の化学組成、圧延条件、冷却前のオーステナイト粒径、予想変態挙動、レール断面の幾何形状、温度分布、及び目標機械的特性を入力として、オンラインで変態予測を含む伝熱解析を行って最終的な機械特性を予想し、必要に応じて冷却条件の見直しを行うことが記載されている。

【0016】

しかし、レールの断面形状は複雑なため、物理モデルを用いた、伝熱解析や境界条件となる熱伝達係数の決定には、二次元、若しくは三次元の熱伝導解析や冷却媒体の流動解析が必要になる。このため、オンラインでは計算負荷が非常に大きい。更に変態を含む伝熱解析は非線形な現象である。このために、解析のための空間及び時間刻みを非常に小さくしなければ安定した解を得ることができない。そのため熱間圧延終了から冷却設備に搬入するまでの間に伝熱解析の計算を終了して、適切な冷却条件を決定し、更に、冷却過程においても温度履歴に合わせて再計算を行って、冷却条件を適宜修正していくということは、現状の計算機の能力では不可能である。

【0017】

以上のように、従来技術では、レール内部の硬度分布を制御する際に、レール素材の鋼片の成分ばらつきや冷却開始温度などの変動要因に応じた精度の良い制御が、現実的には困難であるという課題がある。

特に、冷却設備の入側における素材の条件は、鋼片毎に変動があるため、進行が速く発熱の大きいパーライト変態を、表面から内部にわたって安定的に制御することは、オンラインでの伝熱解析（物理モデルによる数値計算）では難しい。

【0018】

本発明は、上記のような点に鑑みてなされたもので、レール表面から内部まで所望の組織に制御して、安定した硬度分布を有するレールの熱処理を可能とするための技術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】

【0019】

課題解決のために、本発明の一態様は、オーステナイト域温度以上の温度となっているレールを冷却設備で強制冷却する熱処理工程後の上記レールの硬度を予測するレールの硬度予測方法であって、冷却開始前のレールの表面温度と強制冷却のための上記冷却設備の操業条件とを少なくとも有する冷却条件データセットを入力データとして、上記強制冷却後のレールの少なくともレール頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを用いて、上記冷却条件データセットと上記硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、取得しておき、取得した複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強

10

20

30

40

50

制冷却後のレール内部の硬度に関する情報を出力データとする硬度予測モデルを予め生成し、上記硬度予測モデルを用いて求められる、上記熱処理工程の冷却条件として設定される一組の冷却条件データセットに対するレール内部の硬度に関する情報に基づき、上記熱処理工程後のレールの硬度を予測する、ことを要旨とする。

【 0 0 2 0 】

また、本発明の一態様は、オーステナイト域温度以上の温度になっているレールを冷却設備で強制冷却する熱処理工程を有する熱処理レールの熱処理方法であって、冷却開始前のレールの表面温度を測定し、上記冷却設備でのレールの冷却開始前に、測定したレールの表面温度を用いて、本発明の一態様に記載の熱処理レールの硬度予測方法によって、レール内部の硬度を予測し、予測したレール内部の硬度が目標とする硬度の範囲外の場合、
予測したレール内部の硬度が目標とする硬度の範囲内に収まるように、上記冷却設備の操
業条件を再設定することを要旨とする。

10

【 0 0 2 1 】

また、本発明の一態様は、オーステナイト域温度以上の温度となっているレールを冷却設備で強制冷却した後の上記レールの硬度を、上記冷却設備での冷却開始前のレールの表面温度と強制冷却のための上記冷却設備の操業条件とを少なくとも有する冷却条件データセットから求めるための硬度予測モデルの生成方法であって、上記冷却条件データセットを入力データとして、上記強制冷却後のレールの少なくともレール頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを用いて、上記冷却条件データセットと上記硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、取得し、

20

取得した複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強制冷却後のレール内部の硬度に関する情報を出力データとする硬度予測モデルを予め生成する、ことを要旨とする。

【 0 0 2 2 】

また、本発明の一態様は、本発明の一態様の熱処理レールの熱処理方法を有する、熱処理レールの製造方法である。

【 0 0 2 3 】

また、本発明の一態様は、オーステナイト域温度以上の温度となっているレールを冷却設備で強制冷却する熱処理工程後の上記レールの硬度を予測するレールの硬度予測装置であって、冷却開始前のレールの表面温度と強制冷却のための上記冷却設備の操業条件とを少なくとも有する冷却条件データセットを入力データとして、上記強制冷却後のレールの少なくともレール頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを用いて演算した、上記冷却条件データセットと上記硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、格納しているデータベースと、上記複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強制冷却後のレール内部の硬度に関する情報を出力データとする硬度予測モデルを生成する硬度予測モデル生成部と、冷却開始前のレールの表面温度を測定する温度計と、上記温度計が測定した測定値と上記硬度予測モデルを用いて、上記熱処理工程の冷却条件として設定される一組の冷却条件データセットに対するレール内部の硬度に関する情報に基づき、上記熱処理工程後のレールの硬度を予測する硬度予測部と、を備えることを要旨とする。

30

40

【 0 0 2 4 】

また、本発明の一態様は、オーステナイト域温度以上の温度になっているレールを冷却設備で強制冷却する熱処理工程を有するレールの熱処理装置であって、上記冷却設備でのレールの冷却開始前に、本発明の一態様に記載の熱処理レールの硬度予測装置によって、レール内部の硬度を予測する硬度予測部と、上記硬度予測部が予測したレール内部の硬度が目標とする硬度の範囲外の場合、予測したレール内部の硬度が目標とする硬度の範囲内に収まるように、上記冷却設備の操業条件を再設定する操業条件再設定部と、を備えることを要旨とする。

【 0 0 2 5 】

50

また、本発明の一態様は、本発明の一態様に記載の熱処理レールの熱処理装置を備える熱処理レールの製造設備である。

【発明の効果】

【0026】

本発明の態様によれば、伝熱解析等を用いた計算負荷が大きな処理となる、複数の冷却条件に対する強制冷却後のレール内部の硬度分布のデータ（学習用データ）を演算する処理を、オフラインで実行可能であるので、精度良く実行することができる。そして、その精度の良い学習用データによって、冷却条件に対する強制冷却後のレール内部の硬度分布のデータを求めるための、硬度予測モデルを機械学習で求めている。

このため、本発明の態様によれば、例えば、熱処理レールの頭部表面から内部にかけての組織制御を適切に実行することが可能となり、製造するレール毎の硬度のばらつきや、レールの長手方向の硬度ばらつきを低減して、品質ばらつきを抑えた熱処理レールの製造が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明に基づく実施形態に係る熱処理レールの製造設備を示す概略図である。

【図2】本発明に基づく実施形態に係る冷却設備での冷却のためのヘッダ等の配置を説明する図である。

【図3】レールの強制冷却部位を説明する図である。

【図4】熱処理の制御方法の例を示す図であって、(a)は1段冷却法、(b)、(c)は多段ステップ冷却法での冷却条件を説明する図である。

【図5】1段冷却法による表面温度と変態挙動の関係を説明する図である。

【図6】本発明に基づく実施形態に係る2段ステップ法による表面温度と変態挙動の関係を説明する図である。

【図7】硬度予測装置の構成例を示す図である。

【図8】内部硬度オフライン計算部の構成を示す図である。

【図9】硬度制御を行う制御装置の構成例を示す図である。

【図10】本発明の実施形態である目標硬度の設定方法の例を説明する図である。

【図11】レールの硬度が目標範囲外の場合の例を示す図である。

【図12】本発明の実施形態である目標硬度の設定方法の他の例を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

次に本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

(熱処理レールの製造設備2)

図1は、熱処理レール1を製造する熱処理レールの製造設備2の一例を示す模式図である。図1に示す製造設備2は、加熱炉11、圧延機3、切断機4、冷却設備7、及び冷却床10を備え、この順番に、レール材の搬送方向（パスライン）に沿って配置されている。

【0029】

<加熱炉11>

加熱炉11は、連続鋳造設備などで作製した鋼片を、例えば、冷却設備7の入側においてオーステナイト域温度以上となるように加熱する処理を実行する。もっとも、冷却設備7の前工程として再加熱する場合には、その限りではない。

【0030】

<圧延機3>

圧延機3は、加熱炉11において加熱された鋼片を複数の圧延パスにより、所望のレール形状に造形・延伸する熱間圧延の設備である。圧延機3は、通常、複数の圧延スタンドから構成される。

【0031】

<切断機4>

10

20

30

40

50

切断機 4 は、圧延機 3 によって延伸された長尺のレール 1 を長手方向に分割するための設備であり、製品としてのレール長と圧延材の長さに応じて適宜使用される。例えば、100 m 程度の圧延長のままで分割することなく冷却設備 7 に搬送される場合もあれば、1 本当りの長さが例えば 25 m 程度の長さに切断（鋸断）した後に搬送される場合もある。

【0032】

<冷却設備 7>

冷却設備 7 は、オーステナイト域温度以上の高温のレール 1 に対し、後述する強制冷却を行う設備であり、製造ライン内のレール 1 のパスラインに沿って設置される。

ただし、冷却設備 7 は、必ずしも圧延機 3 からの搬送ライン上に設置する構成でなくとも良い。例えば、冷却設備 7 を、熱間圧延設備とは別のエリアに設け、熱間圧延されたレール 1 を、加熱炉でオーステナイト域温度以上に再加熱してから、冷却設備 7 に搬送する構成であってもよい。

冷却設備 7 は、冷却対象となるレール 1 の長手方向に沿って配置された複数の冷却ゾーンで構成されており、レール 1 の長さに応じて使用する冷却ゾーンを設定する。各冷却ゾーンの冷却条件（操業条件）は個別に設定可能となっている。

冷却設備 7 の詳細については、後述する。

【0033】

<温度計>

温度計 8 は、冷却設備 7 の入口側の位置（切断機 4 と冷却設備 7 との間）に設けられ、冷却開始前のレール温度を検出する。温度計 8 が測定した測定結果は、冷却設備 7 を制御する制御装置 6 に送られる。温度計 8 は、例えば、少なくともレール 1 の頭部の表面温度を測定する。

また、冷却設備 7 の下流側の位置（冷却設備 7 の出口側）に、強制冷却終了後のレール 1 表面の温度を検出するための温度計 9 を設置してもよい。この場合、制御装置 6 において予測された強制冷却終了後の温度と、温度計 9 が測定した温度とを比較することで、制御装置 6 の予測結果の妥当性を判定することができる。

【0034】

<冷却床 10>

冷却設備 7 で強制冷却されたレール 1 は、冷却床 10 に搬送される。

冷却床 10 は、例えば、レール 1 が曲がらないように矯正する役目や均一に冷却する役目がある。また、冷却床 10 で、製造したレール 1 の目視検査、重量測定などについても適宜実行される。

【0035】

（冷却設備 7）

本実施形態の冷却設備 7 では、処理位置まで搬入されたレール 1 の頭部及び足部を、冷却ヘッドから噴射される冷却媒体によって、強制冷却する構成となっている。冷却ヘッドは、冷却ゾーン毎に設けられる。

図 2 は、冷却設備 7 が有する冷却ヘッドの配置例を、レール 1 断面からみた模式図で示す図である。すなわち、本実施形態の冷却ヘッドは、図 2 に示すように、レール 1 の頭部 101 を冷却するための頭頂冷却ヘッド 71 及び頭側冷却ヘッド 72（頭頂冷却ヘッド 71 と頭側冷却ヘッド 72 とを総称して「頭部冷却ヘッド」と呼ぶ）と、レール 1 の足部 103 を冷却するための足裏冷却ヘッド 73 とを備える。なお、必要に応じてレール 1 の腹部 102 を冷却するための腹部冷却ヘッドを更に備えてもよい。

【0036】

頭頂冷却ヘッド 71、頭側冷却ヘッド 72、及び足裏冷却ヘッド 73（以下、これらを包括して適宜「冷却ヘッド 71、72、73」と呼ぶ。）は、それぞれ配管を介して冷却媒体源と接続され、不図示の複数のノズルから冷却媒体を噴射する。また、配管には制御用の弁が設けられている。

ここで、冷却設備 7 が採用する冷却方式は、本発明に適した冷却速度を達成可能で、被冷却材の表面温度に対する冷却能力の変動が少ない、圧縮空気を冷却媒体として噴射する

10

20

30

40

50

方式（衝風冷却）とする。ただし、本実施形態における冷却方式は、衝風冷却に限定されるものではなく、ミスト冷却を含む水冷方式でもよい。

【0037】

各冷却ヘッドの具体的なノズル配置については、次の通りである、すなわち、冷却ヘッド71のノズルは、レール1の頭部101上方にレール1の長手方向に沿って配置され、図3に示す頭部101の上面（頭頂面）1011に向けて冷却媒体（空気）を噴射する。また、冷却ヘッド72のノズルは、処理位置のレール1の頭部101の両側方にレール1の長手方向に沿って配置され、図3に示す頭部101の側面（頭側面）1012に向けて冷却媒体（空気）を噴射する。また、足裏冷却ヘッド73のノズルは、処理位置のレール1の足部103下方にレール1の長手方向に沿って配置され、図3に示す足部103の裏面（足裏面）1031に向けて冷却媒体（空気）を噴射する。

10

【0038】

なお、ノズルの形式は複数の円管ノズルから構成される群噴流や、矩形状の隙間を持つスリットから構成されるスリットノズルなどが好適である。衝風冷却において、冷却能力（熱伝達係数）の制御は噴射圧力と噴射距離の調整で行うことができるということが一般に知られている（例えば非特許文献1）。そこで、これら冷却ヘッド71、72、73の各々で、冷却媒体（空気）の噴射制御を行うために圧力制御可能な構成としている。更に、レール1の規格によるレール1の断面形状の違いに合わせる目的と冷却能力を制御する目的で、冷却設備7は、各冷却ヘッドに対し、レール1表面との距離が調整可能な移動機構を備えている。これら各ヘッドの位置調整機構としては、電動アクチュエータ、空気シリンダー、油圧シリンダーなどがあるが、位置決め精度の観点から電動アクチュエータが好適である。また、レール1表面から各冷却ヘッドまでの距離を測定する不図示の距離計（例えばレーザー変位計）を備えており、冷却中の各冷却ヘッドの噴射距離を設定値に合わせて制御することができる。加えて、冷却中の熱収縮でレール1が変形してヘッドとの距離が変化しないように、レール1の足部13などを挟持し上下左右方向の変形を拘束する拘束装置を備えている（不図示）。

20

【0039】

また冷却設備7は、図2に示すように、頭部温度計74と足部温度計75を備える。頭部温度計74は、レール1の頭部101上方に設けられ、頭部101の表面温度（例えば、頭頂面1011内の1箇所）を測定する。足部温度計75は、レール1の足部103下方に設けられ、足部103の表面温度（例えば、足裏面1031内の1箇所）を測定する。これらの2種類の温度計74、73は、冷却設備7内に長手方向で複数設置されており、これらの2種類の温度計74、73によって、冷却中の各所の温度履歴をモニタリングすることができる。また、噴射される空気（冷却媒体）の温度を監視するための温度計（不図示）が複数のヘッドに設置される場合がある。噴射する温度も冷却能力に影響を与えるからである。

30

ここで、冷却設備7でレール1に向けて噴射される冷却媒体の噴射圧力、噴射距離、噴射位置、及び噴射時間などが制御装置6によって制御されて、冷却条件が調整可能となっている。

【0040】

40

< 熱処理方法 >

次に、冷却設備7による強制冷却の処理（熱処理）の原理その他に関し、説明する。

ここで、強制冷却前のレール1は、オーステナイト域温度以上に加熱されているものとする。そして、冷却設備7では、この高温のレール1に対し、冷却条件に基づき強制冷却を実行する。この強制冷却によって、レール1の表面及び内部の温度変化や変態が進行し、頭部冷却ヘッドによる冷却条件を随時変更することで、熱処理後のレール1内部の組織を制御することができる。

【0041】

熱処理（強制冷却）の制御方法としては、例えば、図4に示すような、1段冷却法（図4（a））や、2段ステップ法（図4（b））、3段ステップ法（図4（c））などの多

50

段ステップ法がある。1段冷却法は、冷却開始から冷却条件として冷却ヘッドの噴射流量、圧力、噴射距離を、冷却終了まで一定の条件で冷却を行う方法である。多段ステップ法は、冷却条件を冷却開始から2段（前段と後段）あるいは3段以上として、時間経過に伴って冷却条件を段階的に変更する方法である。本実施形態では、多段ステップ法を採用する。

多段ステップ法の場合には、各ステップで冷却ヘッドの噴射流量、圧力、噴射距離を決定すると共に、次ステップへ移行するタイミングを決定する。ただし、冷却条件の変更は時間経過に対応して、必ずしも多段ステップ法を採用する必要はなく、時間経過とともに変化する冷却条件が特定できるように、冷却条件を時間の関数として設定してもよい。

【0042】

冷却条件は、長手方向に分割された冷却ゾーン毎に個別に設定することができる。また、頭側冷却ヘッド72では左右の冷却ヘッドの冷却条件を異なる条件に設定してもよい。また、冷却ヘッドの噴射流量、圧力、噴射距離は、単独又は2以上の条件を組み合わせるステップ状に変更してもよい。ただし、2以上の条件を組み合わせる場合には図4の時間ステップに合わせて、複数の条件を同時に変更する。

ここで、レール1の素材として広く用いられる共析鋼では、オーステナイトからパーライトへの変態は概ね550～730の温度域で起こる。実際には、ベイナイトの抑制と高硬度を両立するために、570～590の温度域で変態させることが望ましい。

【0043】

2段ステップ法を用いて、このような目的とする温度域で変態させる場合、前段ステップの冷却は、例えば、冷却開始から表面が変態を開始する前までの冷却とし、その前段ステップの冷却速度は4～6 /秒の範囲に設定するのがよい。この範囲の冷却速度よりも遅い場合には、高温で変態し硬度が低下してしまう。また、この範囲の冷却速度よりも速い場合には、ベイナイト変態を起こしてしまうおそれがある。

【0044】

図5は、レール1頭部の表層の組織変化の例を模式的に表したものである。図5は、熱処理の制御方法として、強制冷却の開始から終了までの間、冷却条件を一定に保つ1段冷却法を適用した例を示している。図5のように、一定の噴射圧力で冷却を継続した場合、パーライト変態が発生すると、変態発熱により急激な温度上昇 T (80～120) が発生する。このような温度上昇は表層のパーライト組織を軟化させるため、所定の硬度を確保することができなくなる。また、この表層の変態発熱の影響により、表面から5～10mm程度内部に入った位置では冷却速度が低下し、過冷度が小さくなることで、熱処理後のレール1内部の硬度も低下してしまう。すなわち、熱処理の制御方法が1段冷却法では、熱処理後のレール1内部の硬度を目的とする硬度とすることが出来ないおそれがある。

【0045】

これに対して2段ステップ法では、図6に示すように、表面の変態発熱が開始した後の後段ステップで、変態発熱に合わせて冷却能力を大きくすることができる。このように表面で変態が開始するタイミングに合わせて、冷却を強くすることによって変態発熱による温度上昇を抑制でき、表面のパーライト組織が軟化しにくくなる。また、表面で生じた変態発熱の影響によりレール1内部の冷却速度が低下することも抑制することができる。ただし、後段ステップでの冷却速度が大きすぎると、表面のパーライト変態が完了しないまま強冷することになり、一部ベイナイト組織が発生してしまう場合もある。そのため、後段ステップにおいて、表面で変態発熱が開始してから冷却が終了するまでの平均の冷却速度が、1～2 /秒の範囲であることが望ましい。

【0046】

衝風冷却で圧力制御によって、このような二段階の冷却（2段ステップ法）を実施する際、前段ステップの緩慢な冷却では低圧空気を噴射し、変態発熱による温度上昇が顕著になる後段ステップの冷却では高圧空気を噴射すればよい。圧力調整は、一般的に流量調整弁を用いて行われる。また、噴射距離の変更によって二段階の冷却を実施する際には、前

10

20

30

40

50

段ステップの緩慢な冷却では、遠方から空気を噴射し、変態発熱の影響が大きい後段ステップの冷却では近接化させて空気を噴射することにより同様の効果を得ることができる。

【 0 0 4 7 】

ところで、図 5 や図 6 に示す変態開始時間（冷却曲線がパーライト変態開始曲線 P と交わる時間）は冷却開始温度によって変化する。また、レール 1 の形状が変われば、頭部の質量が変化するため、同一の冷却条件を設定しても、要求される冷却速度や冷却能力が変化する。そのため、制御装置 6 による、冷却条件を緩冷から強冷に切り替えるタイミングだけでなく、各ステップの噴射圧力や噴射距離による冷却能力の制御が必要になる。更に、レール鋼の化学組成や冷却前のオーステナイト粒径によって図 5、6 に示す変態曲線が変化するため、冷却条件をレール素材の鋼片の含有成分や、冷却前のオーステナイト粒径に影響を与える圧延機 3 でのパススケジュールに応じて変更する場合もある。

10

【 0 0 4 8 】

（熱処理レール 1 の硬度予測方法（硬度予測装置 2 0 ））

本実施形態は、オーステナイト域温度以上の温度となっているレール 1 を冷却設備 7 で強制冷却を施す熱処理工程後の上記レール 1 の硬度を予測する熱処理レール 1 の硬度予測方法を実現するための、硬度予測装置 2 0 を有する。

硬度予測装置 2 0 は、図 7 に示すように、基礎データ取得部 2 1 と、データベース 2 3（記憶部）と、硬度予測モデル生成部 2 4 と、硬度予測部 2 6 とを備える。硬度予測部 2 6 は、オンラインで使用され、制御装置 6 に組み込まれている。

ここで、冷却設備 7 での冷却開始前のレール 1 の表面温度及び冷却設備 7 の操業条件を少なくとも有する冷却条件のデータの組を、冷却条件データセットと記載する。

20

【 0 0 4 9 】

オフラインで用いられる冷却条件データセットには、レール 1 の冷却開始前の表面温度として、冷却設備 7 入側に配置した温度計 8 で取得する温度情報に相当する数値情報を含む。また、冷却設備 7 の操業条件として、冷却開始から冷却終了までの各ステップにおける各冷却ヘッドの噴射流量、噴射圧力、噴射距離及び冷却ステップの切り替えタイミング（例えば、冷却開始から各ステップの切り替えまでの時間）を含む。

冷却条件データセットは、冷却開始前のレール 1 の表面温度、及び冷却設備 7 の操業条件以外の冷却のための、熱処理の入力情報を含んでいても良い。

【 0 0 5 0 】

< 基礎データ取得部 2 1 >

基礎データ取得部 2 1 は、オフラインでの冷却条件データセットを入力データとして、強制冷却後のレール 1 の少なくともレール 1 頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを有する。本実施形態では、内部硬度演算モデルを用いた数値計算の実行は、内部硬度オフライン計算部 2 2 で行われる。

そして、基礎データ取得部 2 1 は、複数の冷却条件データセットについて、個々に、内部硬度オフライン計算部 2 2 によるオフラインでの演算を実行して、入力データとしての冷却条件データセットと出力データとしての上記レール 1 内部の硬度情報とからなる学習用データを複数組、取得する。基礎データ取得部 2 1 は、取得した学習用データをデータベース 2 3 に格納する。

30

40

【 0 0 5 1 】

本実施形態では、内部硬度オフライン計算部 2 2 が演算する出力データである内部の硬度は、少なくともレール 1 表面から予め設定した深さまでの領域における硬度分布である。予め設定した深さは、例えば 1 0 m m ~ 5 0 m m である。予め設定した深さは、例えば、レール 1 頭部の表層が摩耗しても実用に耐える摩耗深さの限界値以上に設定する。慣用的には 1 インチ（2 5 . 4 m m ）とするのが好ましい。

【 0 0 5 2 】

すなわち、本実施形態の基礎データ取得部 2 1 は、オフラインで実行され、少なくとも冷却開始前の表面温度及び冷却設備 7 の操業条件からなる一組の冷却条件データセットを入力データとして、熱処理工程後のレール 1 内部における硬度分布を出力データとする数

50

値計算を実行する内部硬度オフライン計算部 2 2 を有し、冷却条件データセットを種々変更して、各冷却条件データセットに対するレール 1 内部における硬度分布を算出して、求めた冷却条件データセットと硬度分布との関係を表す学習用データをデータベース 2 3 に送る機能を備える。

【 0 0 5 3 】

ここで、複数の冷却条件データセット若しくは、冷却条件データセットを構成する冷却開始前の表面温度等のデータなどの構成データは、予め、データベース 2 3 に格納しておけばよい。各冷却条件データセットは、例えば、過去の操業条件や将来製造するレール 1 の条件などに基づき、温度条件の範囲などを設定し、設定した範囲内の値から決定する。もっとも、使用する複数の冷却条件データセットは、必ずしもデータベース 2 3 に予め格納しておく必要はなく、直接に内部硬度オフライン計算部 2 2 に入力するように構成しても良い。

10

【 0 0 5 4 】

< 内部硬度オフライン計算部 2 2 (内部硬度演算モデル) >

内部硬度オフライン計算部 2 2 は、図 8 に示すように、熱伝達係数計算部 2 2 A、熱伝導計算部 2 2 B、組織計算部 2 2 C、硬度計算部 2 2 D を備える。この内部硬度オフライン計算部 2 2 による物理モデルに基づく硬度計算は、冷却開始から冷却終了までの計算を、熱伝達係数計算、熱伝導計算、組織計算部 2 2 C の順に行い、最終的な組織計算結果から硬度計算を行うことで求めることができる。

【 0 0 5 5 】

ただし、後述のように連成解析を行う場合には、冷却開始から冷却終了までの計算を行う際に、例えば $0.1 \sim 10 \mu s$ の時間ステップ毎に、熱伝達係数計算、熱伝導計算、組織計算部 2 2 C の間で連成計算を行い、それらの計算が終了した後に、次の時間ステップについて計算を実行し、それを冷却終了まで繰り返す方法をとる。なお、硬度計算は連成解析には組み込まれないため、冷却終了後の組織計算結果に基づいて計算を行えばよい。

20

演算するレール 1 の箇所は、必ずしもレール 1 の表面全体に対して実行する必要はない。本実施形態の内部硬度オフライン計算部 2 2 は、少なくとも、均一の硬度が一番要求されるレール 1 頭部の硬度を演算する場合とする。

また、冷却条件データセットから硬度分布を求める内部硬度オフライン計算部 2 2 の計算式は、公知のモデル式を採用してもよい。

30

【 0 0 5 6 】

< 熱伝達係数計算部 2 2 A >

熱伝達係数計算部 2 2 A は、熱処理中のレール 1 表面における熱伝達係数を計算する。本実施形態の熱伝達係数計算部 2 2 A は、レール 1 頭部表面における複数箇所の熱伝達係数を演算する。

本実施形態の熱伝達係数計算部 2 2 A は、冷却設備 7 の操業パラメータ及びレール形状を入力として有限体積法などの数値流体力学手法によってレール 1 表面の熱伝達係数を算出する。有限体積法は解析対象となる領域を有限個のコントロールボリュームに分割し、各ボリュームに対して積分形の物理量の保存方程式を適用する方法である。ただし、ヌッセルト数やレイノルズ数などの無次元量の関係を冷却実験から求めた強制対流に関する実験式により熱伝達係数を算出してもよい。

40

【 0 0 5 7 】

このとき、熱伝達係数計算部 2 2 A では、冷却開始から冷却終了までの各ステップにおける各冷却ヘッドの噴射流量、噴射圧力、噴射距離及び冷却ステップの切り替えタイミングに応じて、レール 1 頭部表面の各位置における時系列の熱伝達係数 (時間とともに変化する熱伝達係数の分布) を求める。また、噴射する冷媒の温度を変数に含めてもよい。

【 0 0 5 8 】

< 熱伝導計算部 2 2 B >

熱伝導計算部 2 2 B は、熱伝達係数計算部 2 2 A により算出された熱伝達係数を境界条件として、熱処理による上記レール 1 内部の熱伝導計算、例えばレール 1 の 2 次元断面内

50

の熱伝導計算を行う。熱伝導計算として、例えば、断面内の温度分布を求める。

本実施形態の熱伝導計算部 2 2 B は、熱伝達係数計算部 2 2 A で出力されたレール 1 頭部表面の各位置における熱伝達係数を境界条件とし、有限要素法などの数値伝熱解析手法を用いて、冷却開始から冷却終了までのレール 1 内部の温度履歴（熱伝導計算）を算出する。また、熱伝導計算に必要な物性値として熱伝導率、比熱、密度などの値は、対象とするレール 1 の成分組成に応じて適宜変更する。

【 0 0 5 9 】

なお、上記の二つの計算部 2 2 A , 2 2 B は、流動場を計算する熱伝達係数計算部 2 2 A による計算結果を用いて、温度場を計算する熱伝導計算部 2 2 B の計算を行う方法であっても十分な計算精度が得られる。しかし、より計算精度を向上させたい場合には流動場と温度場の相互作用を考慮した連成解析を行ってもよい。連成解析では計算精度は向上するものの計算負荷が増大するためオンライン解析で適用することは非現実的であるが、本発明ではこれらの解析をオフラインで実行するため負荷増大は許容される。

10

【 0 0 6 0 】

< 組織計算部 2 2 C >

組織計算部 2 2 C は、熱伝導計算部 2 2 B が算出する温度履歴計算に基づくレール 1 内部の温度分布から、相変態を考慮した上記レール 1 の断面内の組織予測を行う。断面内の組織予測は、例えば断面内の組織分布である。

【 0 0 6 1 】

本実施形態の組織計算部 2 2 C は、熱伝導計算部 2 2 B により得られたレール 1 内部の温度履歴から、相変態を考慮してレール 1 断面内の各位置における組織予測を行う。相変態の挙動は、熱処理を行う鋼の成分組成や冷却開始前のオーステナイト粒径により変化するため、対象とするレール 1 の規格に対応した成分組成毎に計算を行う。また、圧延機 3 でのパススケジュールや、圧延終了後から強制冷却開始までに要する時間によってオーステナイト粒径が変化するため、これらの操業条件毎に組織計算を行ってもよく、強制冷却開始前のオーステナイト粒径を予測する組織予測モデルを更に加えてもよい。なお、オフラインでの計算では、レール素材の鋼の成分組成やオーステナイト粒径が異なる場合でも予め多数の条件に対して計算を行うことが可能である。そのため、後述する硬度予測モデル 2 5 の入力データとして、これらのパラメータを加えてもよい。

20

【 0 0 6 2 】

また、本実施形態の組織計算部 2 2 C では、冷却速度に応じた相変態開始温度の変化や相変態の進行速度の変化など動的な相変態特性を組み込んだ相変態計算を行う。

ここで、温度履歴が相変態に影響を与えるだけでなく、変態発熱によって温度履歴も影響を受けることから組織計算部 2 2 C と上記の熱伝導計算部 2 2 B は連成解析とすることが望ましい。組織計算部 2 2 C における変態挙動の計算には、例えば、伊藤らによる方法（鉄と鋼、6 4 (1 1) , S 8 0 6 , 1 9 7 8 年、又は鉄と鋼、6 5 (8) , A 1 8 5 - A 1 8 8 , 1 9 7 9 年）などに記載の、公知の計算式を用いることができる。

30

【 0 0 6 3 】

< 硬度計算部 2 2 D >

硬度計算部 2 2 D は、組織計算部 2 2 C が算出した各断面の組織予測に基づく組織分布から、上記レール 1 の断面内の硬度分布を算出する。

本実施形態の硬度計算部 2 2 D では、化学組成や過冷度を入力とした各組織と硬度との関係式を用いて予測硬度を算出する。例えば、パーライト組織は、板状の軟質なフェライトと硬質なセメンタイトが層状をなすラメラ構造であり、ラメラ間隔と硬度の間に強い相関があることが知られており、例えば、A . R . Marder らによる方法（The Effect of Morphology on the Strength of Pearlite: Met. Trans. A, 7 A (1 9 7 6) , 3 6 5 - 3 7 2) を用いることができる。また、化学組成、過冷度と各組織の硬度の関係式は事前に実験などで求めた実験式を用いてもよい。

40

【 0 0 6 4 】

50

< データベース 2 3 >

内部硬度オフライン計算部 2 2 を用いて、冷却条件データセットとして、レール 1 の冷却開始前の表面温度、及び冷却設備 7 の操業条件として冷却開始から冷却終了までの各冷却ヘッドの噴射流量、噴射圧力、噴射距離及び冷却ステップの切替えタイミングを種々変更したデータセットを生成し、各データセットに対応したレール 1 内部における硬度分布を計算した結果は、学習用データとしてデータベース 2 3 に蓄積される。

ここで、計算結果であるレール 1 内部の硬度分布は、レール 1 頭部 1 0 1 の断面内の各位置（断面内の座標）に対応した硬度データである。ただし、硬度分布の硬度データは、連続的な値ではなく、熱伝導計算部 2 2 B や組織計算部 2 2 C の計算で用いた要素分割に応じた離散的な値である。

【 0 0 6 5 】

また、断面内の細かな硬度分布までは実用上の必要性が低いため、断面内の座標として 1 ~ 5 mm 程度のピッチで抽出した硬度データを用いれば十分である（ピッチ毎に計算結果を平均化してもよい）。更に、断面内の硬度情報の全てが必要ではなく、例えば、頭頂面 1 0 1 1 から垂直方向の位置と硬度のデータをレール 1 内部の硬度分布としてもよい。更にこのデータに加えて、J I S E 1 1 2 0 - 2 0 0 7 に規定されているように、頭角部（1 0 1 1 と 1 0 1 2 の境界部）から斜め方向に進んだ位置と硬度のデータを用いてもよい。その際、表面から内部方向の代表位置としては、深さ 2、5、1 0、1 5、2 0、2 5 mm など数点の代表点を用いて、それに対応する硬度データをレール 1 内部の硬度分布とすることができる。

【 0 0 6 6 】

一方、レール 1 断面内の硬度分布を等高線で表した図や色分けした画像データ（硬度分布を画像表現したデータ）を、レール 1 内部の硬度分布と定義してもよい。ディープラーニングなどの機械学習手段では、画像を出力データとする硬度予測モデル 2 5 の生成が可能だからである。

データベース 2 3 を構築する際の入力データとなる冷却条件データセットは、過去の操業実績を参照して、その範囲内で冷却条件を変化させればよい。また、冷却設備 7 の各冷却ヘッドの設備仕様の範囲内で適宜計算の入力条件を変更して内部硬度オフライン計算部 2 2 による計算を行う。

【 0 0 6 7 】

以上のように、複数組の入力データ（冷却条件データセット）と出力データ（硬度計算結果）の組み合わせが作成され、予めデータベース 2 3 へと格納される。

格納する学習用データとしては、5 0 0 個以上の入力データ（冷却条件データセット）と出力データ（硬度計算結果）の組があればよい。好ましくは 2 0 0 0 個以上の学習用データを生成する。

【 0 0 6 8 】

< 硬度予測モデル生成部 2 4 >

硬度予測モデル生成部 2 4 では、データベース 2 3 に保存されている複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強制冷却後のレール 1 内部の硬度に関する情報を出力データとする硬度予測モデル 2 5 を生成する。硬度予測モデル 2 5 の生成は、オフラインで実行される。

使用する機械学習モデルは、実用上必要な精度での硬度予測が可能であれば、いずれのモデルでもよい。例えば、一般的に用いられるニューラルネットワーク（ディープラーニングを含む）、決定木学習、ランダムフォレスト、サポートベクター回帰などを用いればよい。また複数のモデルを組み合わせたアンサンブルモデルを用いてもよい。

【 0 0 6 9 】

更に、硬度予測モデル 2 5 として、レール 1 の硬度値ではなく、予め定められた硬度分布の許容範囲にあるか否かの判定を行い、その結果を合格 / 不合格と 2 値化したデータを出力データとした機械学習モデルを用いてもよい。その際、k 近傍法やロジスティック回帰のような分類モデルを用いるのが好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 0 】

< 制御装置 6 >

本実施形態のレール 1 の製造設備 2 には、図 1 に示すように、レール 1 の冷却条件を制御するための制御装置 6 を備える。

制御装置 6 は上位コンピュータ 5 から、レール 1 の形状、化学組成、目標とする硬度（内部の分布）、基準冷却条件を取得し、それを実現するための操業条件を算出して冷却制御装置へ指令を出し、冷却設備 7 の操業パラメータを決定する。

本実施形態における制御装置 6 の構成を図 9 に示す。

制御装置 6 は、図 9 に示すように、冷却設備 7 の操業条件初期設定部 6 1、硬度予測部 2 6、操業条件判定部 6 2、操業条件再設定部 6 3 を備える。

10

【 0 0 7 1 】

< 操業条件初期設定部 6 1 >

操業条件初期設定部 6 1 は、目標硬度分布を満たしつつベイナイト組織やマルテンサイト組織のような異常組織を生じないように、冷却ヘッダの噴射圧力や噴射距離、噴射位置及びそれらの切り替えタイミングを予め設定しておく。これらの冷却条件は、過去の操業結果に基づく経験則や特許文献 1 ~ 3 に示されている方法などによりオフラインで決定しておくことができる。また、基礎データ取得部 2 1 を用いて、レール 1 の軌種、規格、寸法、化学組成の代表値に対して、目標硬度を得るための適正な冷却条件を予め決定し、これらの条件を冷却設備 7 の操業条件初期設定部 6 1 に設定してもよい。

【 0 0 7 2 】

< 硬度予測部 2 6 >

硬度予測部 2 6 は、硬度予測モデル 2 5 を用いて求められる、上記熱処理工程の冷却条件として設定される一組の冷却条件データセットに対するレール 1 内部の硬度に基づき、上記熱処理工程後のレール 1 の硬度を予測する。

本実施形態の硬度予測部 2 6 は、冷却設備 7 入側の温度計 8 により計測されたレール 1 頭部の表面温度と、操業条件初期設定部 6 1 により設定された冷却ヘッダの冷却条件とを用いて、冷却条件データセットを構成する。硬度予測部 2 6 は、オンラインで生成した冷却条件データセットを入力データとして、オフラインで生成した硬度予測モデル 2 5 を用いて、熱処理終了後のレール 1 内部における硬度分布を予測する。

20

また、硬度予測部 2 6 は、操業条件再設定部 6 3 で操業条件の再設定が実行された場合は、その再設定後の情報に基づき操業条件の初期設定を更新して、再度、熱処理終了後のレール 1 内部における硬度分布を予測する。

30

【 0 0 7 3 】

< 操業条件判定部 6 2 >

操業条件判定部 6 2 は、硬度予測部 2 6 が求めたレール 1 内部における硬度分布が、上位コンピュータ 5 から受け取ったレール 1 内部の硬度分布の目標範囲と比較する。

ここで、レール 1 内部の目標硬度とは、例えば図 1 0 に示すように、J I S E 1 1 2 0 (2 0 0 7) に定められている硬度範囲を満たすものとして設定することができる。ここで、J I S E 1 1 2 0 は、レール 1 頭部の表面硬度の上下限值及び内部硬度の上限値と所定の深さ位置（基準点）における下限値が規定されている。

40

ここで、基準点の位置は、表面から 1 1 m m の距離にある位置である。

【 0 0 7 4 】

図 1 1 は、目標硬度範囲から外れた場合の例を示す図である。

ここで、レール 1 頭部の内部硬度は表面から内部に向かって離れるほど低下するのが一般的な特徴であることから、図 1 2 に示すように、レール 1 の表層から一定深さまでの硬度分布の目標曲線を設定し、その硬度からの差が一定の範囲に入るように設定してもよい。その際、硬度分布の目標曲線の許容範囲内では、上記 J I S E 1 1 2 0 の規格を満足するものとする。

【 0 0 7 5 】

更に、レール 1 内部の硬度予測位置（表面からの深さを d_i とする。 i は評価点（ 1 ~

50

n)を表す)に対応する目標硬度を B_i として、予測される各位置における硬度 B_{Pi} を用いて、予め設定された硬度誤差の許容値 により、以下の (1) 式を満足するか否かを判定してもよい。

$$\sum_{i=1}^n (B_i - B_{Pi})^2 < \dots (1)$$

操業条件判定部 6 2 は、予測されるルール 1 内部硬度が、予め設定された目標硬度範囲に入らない場合には、操業条件再設定部 6 3 に移行する。

【0076】

< 操業条件再設定部 6 3 >

操業条件再設定部 6 3 は、冷却条件を再設定する。

冷却条件の再設定は、具体的には、冷却開始から冷却終了までの各ステップにおける各冷却ヘッドの噴射流量、噴射圧力、噴射距離、冷却ステップの切り替えタイミング等の噴射時間のいずれか、又は複数の操業パラメータを再設定する。

再設定された操業パラメータは、硬度予測部 2 6 で用いられる。

これによって、予測されるルール 1 内部における硬度分布が、目標硬度範囲に収まるように操業パラメータの修正が実行されることになる。

ここで、冷却条件の再設定には、数回から十数回の硬度分布予測が必要となる。しかしながら、予めオフラインで学習済みモデルを生成し、その生成した学習済みモデルを用いて硬度予測をするため、一つの冷却条件データセットに対する硬度予測結果の出力が短時間で実行可能である。すなわち、数回から十数回の再計算を行っても全体としては短時間で再設定が可能である。

【0077】

< 冷却制御部 6 4 >

冷却制御部 6 4 は、硬度予測部 2 6 が求めたルール 1 内部における硬度分布が目標範囲と判定された操業条件で冷却設備 7 での強制冷却処理を実行する。

すなわち、冷却制御部 6 4 は、目標範囲内の硬度となると予測される各冷却ヘッドの噴射流量、噴射圧力、噴射距離及び冷却ステップの切り替えタイミングで強制冷却を実行する制御を行う。

ここで、冷却設備 7 の弁の開閉には数秒程度の時間を要する場合があります、噴射距離を変更する場合にも数秒の遅れが発生するため、各冷却ヘッドの冷却条件の変更に要する応答時間を考慮して、冷却条件の変更指令を調整してもよい。

【0078】

また、上記の冷却設備 7 の操業条件の設定については、ルール 1 の長手方向に対して分割されたヘッド毎に実施することができる。特にルール 1 の先尾端は圧延時にミルを通過する速度が一定でないためロールとの接触やロール冷却水、デスクーリング水による冷却量が大きくなり、長手中央の定常部に比べて温度が低下しやすい。したがって、冷却設備 7 入側の温度計 8 によりルール 1 の長手方向の温度分布を測定し、長手方向に分割された冷却ヘッドの位置毎に上記方法を適用して、長手方向の各位置での冷却条件を個別に制御することにより、冷却開始温度が長手方向で分布していても、冷却終了後には長手方向で均一な硬度を有するルール 1 を製造することができる。

【0079】

(動作その他)

予め物理モデルに基づく計算式で演算する内部硬度オフライン計算部 2 2 の実行をオフラインで行う。これによって、本実施形態では、伝熱解析等を用いた計算負荷が大きな処理となる、複数の冷却条件に対する強制冷却後のルール 1 内部の硬度分布のデータ(学習用データ)を演算する処理を精度良く実行することができる。

更に、本実施形態では、その精度の良い多数の学習用データに基づき、冷却条件に対する強制冷却後のルール 1 内部の硬度分布のデータを求めるための、硬度予測モデル 2 5 を機械学習で求める。

そして、オンラインでは、その硬度予測モデル 2 5 によって硬度の予測を実行することで、複雑な計算を行う内部硬度オフライン計算部 2 2 による硬度予測結果を極めて高速に

10

20

30

40

50

出力することが可能となる。

【0080】

なお、上記データベース23内の学習用データの作成は、冷却設備7のオンラインでの操業とは別個に作成することができるので、随時データセットをデータベース23に蓄積していき、定期的に（例えば1か月に一度）、硬度予測モデル25を更新することができる。これにより、硬度予測モデル25の元になるデータセット数が増加し、学習済モデルの出力結果について精度が向上する。特に、実操業で蓄積されるデータとは異なり、意図的に冷却条件データセットの値を設定できるため、冷却条件データセットに統計的な偏りが生じにくく、機械学習を行うのに適したデータとなるため、データセット数が増加するほど、精度が向上するという特徴がある。

10

【0081】

本実施形態では、上記のようにオンラインで高精度の硬度予測が短時間で実行できるため、ルール1内部の硬度を目標硬度範囲とする操業条件で強制冷却（熱処理）が実行される。この結果、本実施形態では、例えば、熱処理ルール1の頭部表面から内部にかけての組織制御を適切に実行することが可能となり、製造するルール1毎の硬度のばらつきや、ルール1の長手方向の硬度ばらつきを低減して、品質ばらつきを抑えた熱処理ルール1の製造が可能となる。

【0082】

（効果）

（1）本実施形態は、オーステナイト域温度以上の温度となっているルール1を冷却設備7で強制冷却する熱処理工程後の上記ルール1の硬度を予測するルール1の硬度予測方法であって、冷却開始前のルール1の表面温度と強制冷却のための上記冷却設備7の操業条件とを少なくとも有する冷却条件データセットを入力データとして、上記強制冷却後のルール1の少なくともルール1頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを用いて、上記冷却条件データセットと上記硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、取得しておき、取得した複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強制冷却後のルール1内部の硬度を出力データとする硬度予測モデル25を予め生成し、上記硬度予測モデル25を用いて求められる、上記熱処理工程の冷却条件として設定される一組の冷却条件データセットに対するルール1内部の硬度に基づき、上記熱処理工程後のルール1の硬度を予測する。

20

30

【0083】

例えば、オーステナイト域温度以上の温度となっているルール1を冷却設備7で強制冷却する熱処理工程後の上記ルール1の硬度を予測するルール1の硬度予測装置20であって、冷却開始前のルール1の表面温度と強制冷却のための上記冷却設備7の操業条件とを少なくとも有する冷却条件データセットを入力データとして、上記強制冷却後のルール1の少なくともルール1頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを用いて演算した、上記冷却条件データセットと上記硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、格納しているデータベース23と、上記複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強制冷却後のルール1内部の硬度を出力データとする硬度予測モデル25を生成する硬度予測モデル生成部24と、上記硬度予測モデル25を用いて、上記熱処理工程の冷却条件として設定される一組の冷却条件データセットに対するルール1内部の硬度に基づき上記熱処理工程後のルール1の硬度を予測する硬度予測部26と、を備える熱処理ルール1の硬度予測装置20を用いる。

40

【0084】

この構成によれば、オンラインで高精度の硬度予測が短時間で実行できるため、ルール1内部の硬度を目標硬度範囲とする操業条件で強制冷却（熱処理）が実行される。この結果、本実施形態では、例えば、熱処理ルール1の頭部表面から内部にかけての組織制御を適切に実行することが可能となり、製造するルール1毎の硬度のばらつきや、ルール1の

50

長手方向の硬度ばらつきを低減して、品質ばらつきを抑えた熱処理レール 1 の製造が可能となる。

【 0 0 8 5 】

(2) 本実施形態では、上記内部硬度演算モデルを用いて演算される出力データは、少なくともレール 1 表面から予め設定した深さまでの領域における硬度分布である。

この構成によれば、より確実に熱処理のための硬度予測が可能となる。

【 0 0 8 6 】

(3) 本実施形態では、上記内部硬度演算モデルは、上記冷却設備 7 を用いた熱処理の際のレール 1 表面の熱伝達係数を計算する熱伝達係数計算部 2 2 A と、上記熱伝達係数計算部 2 2 A が算出した熱伝達係数を境界条件として、上記熱処理による上記レール 1 内部の温度履歴計算を行う熱伝導計算部 2 2 B と、上記熱伝導計算部 2 2 B が算出した温度履歴計算に基づくレール 1 内部の温度分布から、相変態を考慮したレール 1 内部の組織予測を行う組織計算部 2 2 C と、上記組織計算部 2 2 C が算出したレール 1 内部の組織予測に基づくレール 1 内部の組織分布から、レール 1 内部の硬度を算出する硬度計算部 2 2 D と、を備える。

この構成によれば、より確実に熱処理のための硬度予測が可能となる。

【 0 0 8 7 】

(4) 本実施形態は、オーステナイト域温度以上の温度になっているレール 1 を冷却設備 7 で強制冷却する熱処理工程を有する熱処理レール 1 の熱処理方法であって、上記冷却設備 7 でのレール 1 の冷却開始前に、本実施形態の熱処理レール 1 の硬度予測方法によって、レール 1 内部の硬度を予測し、予測したレール 1 内部の硬度が目標とする硬度の範囲外の場合、予測したレール 1 内部の硬度が目標とする硬度の範囲内に収まるように、上記冷却設備 7 の操作条件を再設定する。

【 0 0 8 8 】

例えば、オーステナイト域温度以上の温度になっているレール 1 を冷却設備 7 で強制冷却する熱処理工程を有するレール 1 の熱処理装置であって、上記冷却設備 7 でのレール 1 の冷却開始前に、請求項 1 1 ~ 請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の熱処理レール 1 の硬度予測装置 2 0 によって、レール 1 内部の硬度を予測する硬度予測部 2 6 と、上記硬度予測部 2 6 が予測したレール 1 内部の硬度が目標とする硬度の範囲外の場合、予測したレール 1 内部の硬度が目標とする硬度の範囲内に収まるように、上記冷却設備 7 の操作条件を再設定する操作条件再設定部 6 3 と、を備える熱処理レール 1 の熱処理装置を用いる。

【 0 0 8 9 】

この構成によれば、レール 1 内部の硬度を目標硬度範囲とする操作条件で強制冷却（熱処理）が実行可能となる。この結果、本実施形態では、例えば、熱処理レール 1 の頭部表面から内部にかけての組織制御を適切に実行することが可能となり、製造するレール 1 毎の硬度のばらつきや、レール 1 の長手方向の硬度ばらつきを低減して、品質ばらつきを抑えた熱処理レール 1 の製造が可能となる。

【 0 0 9 0 】

(5) 本実施形態では、上記再設定する冷却設備 7 の操作条件は、上記冷却設備 7 でレール 1 に向けて噴射される冷却媒体の噴射圧力、噴射距離、噴射位置、及び噴射時間のうち、少なくとも一つの操作条件を含む。

この構成によれば、レール 1 内部の硬度を目標硬度範囲とする操作条件を、より確実に設定可能となる。

【 0 0 9 1 】

(6) 本実施形態では、上記冷却設備 7 は、冷却対象のレール 1 の長手方向に沿って配置された複数の冷却ゾーンを有し、上記冷却設備 7 の操作条件の再設定は、その各冷却ゾーン毎に個別に操作条件の再設定を実行する。

この構成によれば、レール 1 内部の硬度を目標硬度範囲とする操作条件を、より細かく設定可能となる。

【 0 0 9 2 】

10

20

30

40

50

(7) 本実施形態は、オーステナイト域温度以上の温度となっているレール1を冷却設備7で強制冷却した後の上記レール1の硬度を、上記冷却設備7での冷却開始前のレール1の表面温度と強制冷却のための上記冷却設備7の操業条件とを少なくとも有する冷却条件データセットから求めるための硬度予測モデル25の生成方法であって、上記冷却条件データセットを入力データとして、上記強制冷却後のレール1の少なくともレール1頭部の内部の硬度を出力データとして演算するための物理モデルである内部硬度演算モデルを用いて、上記冷却条件データセットと上記硬度の出力データとからなる学習用データを複数組、取得し、取得した複数組の学習用データを用いた機械学習により、上記冷却条件データセットを少なくとも入力データとし上記強制冷却後のレール1内部の硬度を出力データとする硬度予測モデル25を予め生成する。

10

【0093】

この構成によれば、オンラインで高精度の硬度予測を短時間で実行できる硬度予測モデル25を生成可能となる。

上記硬度予測モデル25は、例えば、ニューラルネットワークモデル(ディープラーニングのモデルを含む)、ランダムフォレスト、又はSVM回帰で学習されたモデルとすればよい。

【0094】

(8) 本実施形態では、上記内部硬度演算モデルを用いて演算される出力データは、少なくともレール1表面から予め設定した深さまでの領域における硬度分布であり、上記硬度予測モデル25の出力データも、少なくともレール1表面から予め設定した深さまでの領域における硬度分布のデータである。

20

この構成によれば、少なくともレール頭部の表層が硬度の均一性に優れたレールを製造するための情報を高精度で得ることが可能となる。

【0095】

(9) 本実施形態では、実施形態の熱処理レール1の熱処理方法を有する、熱処理レール1の製造方法を提供する。例えば、実施形態の熱処理レール1の熱処理装置を有する、熱処理レール1の製造設備を提供する。

この構成によれば、少なくともレール頭部の表層が硬度の均一性に優れたレールを製造可能となる。

【実施例1】

30

【0096】

次に、本実施形態に基づく実施例について説明する。

レール1の製造設備2(図1参照)を用いて、熱処理レール1の製造を行った。

本実施例では、複数軌種、規格のレール1の強制冷却を行い、室温まで空冷した後で頭部の組織及び断面内の硬度分布を評価した。なお、各実施例、各比較例において、それぞれ20本ずつの熱処理レール1を製造し、それぞれのばらつきを評価した。

対象としたレール1は、軌種2種類(JIS60kgレールと50kgNレール)と規格2種類(高硬度レールHと通常硬度レールL)の合計4種類とした。そして、約900で熱間圧延を終了した後、圧延長のまま(切断することなく)、オンラインに設置された冷却設備7で強制冷却を行った。なお、本実施例に用いた鋼種のオーステナイト温度は760、平衡変態温度が720であった。

40

【0097】

冷却設備7の入側温度計8による入側温度の目標値は750に設定し、上記4種類のレール1について目標硬度分布が得られるように、予めオフライン計算により設定された冷却条件を操業条件初期設定部61の指示値とした。

冷却条件としては2ステップ法による冷却として、前段ステップと後段ステップにおける噴射圧の設定値及び、前段ステップから後段ステップへの切り替え時間については、それぞれ熱処理を行うレール1の種類に応じて設定した(表中「固定」として基準となる条件を表す)。

【0098】

50

使用した硬度予測モデル 25 は、本実施例では上記実施例 1 から 4 の 4 種類のレーン 1 に対応して、それぞれに対応した硬度予測モデル 25 を生成した。硬度予測モデル 25 の生成に用いたデータベース 23 は、実験室レベルの冷却実験装置を用いて、冷却ノズルの噴射流量、圧力を種々変更した 1 段冷却法による実験により、組織と硬度との関係を回帰式により作成した。なお、硬度予測モデル 25 の生成に用いたデータ数は 500 個であった。

このとき、実際の操業では、入側温度計 8 による温度測定値と上記目標温度との間には、20 本のレーン 1 毎のばらつきと、1 本レーン内の位置による温度ばらつきを合わせて、-30 ~ +10 のばらつきが生じていた。

【0099】

比較例では、これらのばらつきがあっても、冷却条件は操業条件初期設定部 61 で設定された固定パターンを使用した。一方、本実施例では、入側温度計による実測値と、予め設定され操業条件初期設定部 61 で設定された冷却条件を冷却条件データセットとして、レーン 1 内部における硬度分布を予測して、目標硬度範囲に収まるか否かを判定した。ここで目標硬度は、図 10 に示す目標硬度として、表 1 中には、表面の硬度の「下限」と「上限」が規定されると共に、「基準点」における「下限」と、内部「全体」の「上限」によって規定した。

【0100】

本実施例においては、硬度予測部 26 により予測されたレーン 1 内部における硬度分布が、目標硬度範囲に収まる場合には、初期に設定されている冷却条件のまま強制冷却を行い、目標範囲から外れる場合には前段ステップにおける噴射圧力、後段ステップにおける噴射圧力（表中の「噴射圧調整量」の範囲内で調整）、及び前段ステップから後段ステップに移行するタイミング（表中の「噴射時間調整量」が修正した範囲）を変更した。なお、本実施例では、実施例、比較例共に噴射距離は軌種によらず冷却中一定（15 mm）とした。

【0101】

冷却終了後は、レーン 1 を拘束装置から外して冷却床 10 に搬送し、常温まで空冷した。そして、常温まで空冷したレーン 1 を切断し、頭部の組織観察及び硬さ試験を行った。頭部の硬度測定及び組織観察は、全長 100 m のレーン 1 を 5 分割して、各位置でサンプルを採取した（各条件 20 本のレーン 1 × 5 サンプル = 100）。頭部組織は、サンプルの切断面を SEM（走査型電子顕微鏡）で観察することで評価した。また、硬度は頭頂面から 0 ~ 20 mm の各深さ位置でブリネル硬さ試験により評価した。硬度の測定結果については、100 個のデータにおける最大値と最小値を評価した。

【0102】

表 1 における「基準点」の「最大」「最小」、表面における「最大」「最小」がこれに該当する。これらの値が目標硬度の上下限値の範囲内にあつて、かつ内部全体で「上限」の範囲内にある場合を、「○」とした。更に、組織観察の結果、ベイナイト組織やマルテンサイト組織などの異常組織は全ての例で発生せず、パーライト組織が得られたものを「○」として評価した。

表 1 に、実験条件及び評価結果を示す。

【0103】

10

20

30

40

【表 1】

軌種	規格	噴射圧 [kPa]		噴射圧調整量 [kPa]		噴射時間調整量 [s]	入側温度計の目標温度からの偏差 [°C]	前段冷却速度 [°C/s]	後段冷却速度 [°C/s]	硬度 [Hv]								組織	備考	
		前段	後段	前段	後段					基準点				表面						全体
										下限	最小	最大	下限	上限	最小	最大	上限			
実施例1	JIS60kg	HH370	10	30	±3	±5	±5	6	2	331	360	375	349	410	372	387	410	○		
実施例2	JIS60kg	HH340	7	25	±3	±5	±5	4	1	311	332	339	338	396	340	346	410	○		
実施例3	JIS50kgN	HH370	5	20	±2	±5	±5	6	2	331	360	375	349	410	372	387	410	○		
実施例4	JIS50kgN	HH340	3	15	±1	±3	±3	4	1	311	332	339	338	396	340	346	410	○		
比較例1	JIS60kg	HH370	10	30				6	2	331	320	390	349	410	340	420	410	×	基準点下限外れ, 全体上限外れ, ベイナイト発生	
比較例2	JIS60kg	HH340	7	25	固定	固定	固定	4	1	311	320	370	338	396	330	400	410	×	表面上下限外れ発生	
比較例3	JIS50kgN	HH370	5	20	固定	固定	固定	6	2	331	320	390	349	410	340	420	410	×	基準点下限外れ, 全体上限外れ, ベイナイト発生	
比較例4	JIS50kgN	HH340	3	15				4	1	311	320	370	338	396	330	400	410	×	表面上下限外れ発生	

【0104】

表1から分かるように、実施例1～4では、レール1の硬度ばらつきが低減し、ベイナイト組織やマルテンサイト組織などの異常組織は全ての例で発生せず、均質なレール1を

安定して製造することができた。

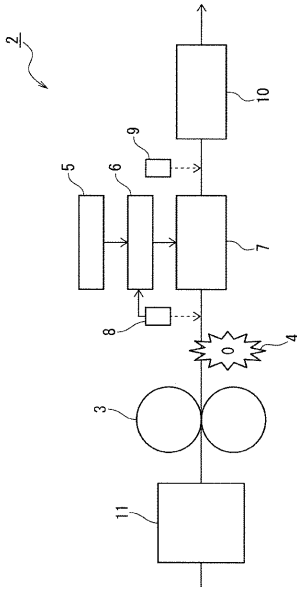
一方、比較例では、冷却設備 7 の入側温度が目標温度に近かった条件では熱処理が適切に行われ目標通りの硬度と組織が得られたが、目標温度から外れたものは硬度のばらつきが大きく、異常組織の生成が見られるものもあった。

【符号の説明】

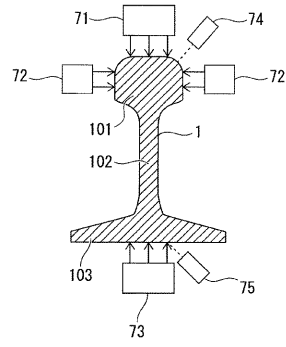
【 0 1 0 5 】

1	熱処理レール	
2	製造設備	
3	圧延機	
4	切断機	10
5	上位コンピュータ	
6	制御装置	
7	冷却設備	
8	温度計	
1 0	冷却床	
1 1	加熱炉	
2 0	硬度予測装置	
2 1	基礎データ取得部	
2 2	内部硬度オフライン計算部	
2 2 A	熱伝達係数計算部	20
2 2 B	熱伝導計算部	
2 2 C	組織計算部	
2 2 D	硬度計算部	
2 3	データベース	
2 4	硬度予測モデル生成部	
2 5	硬度予測モデル	
2 6	硬度予測部	
6 1	操業条件初期設定部	
6 2	操業条件判定部	
6 3	操業条件再設定部	30
6 4	冷却制御部	
7 1	頭頂冷却ヘッド	
7 2	頭側冷却ヘッド	
7 3	足裏冷却ヘッド	
7 4	頭部温度計	
7 5	足部温度計	

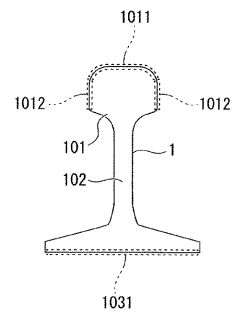
【図1】



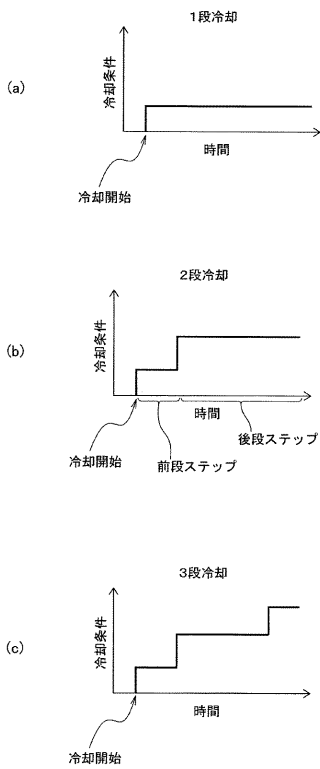
【図2】



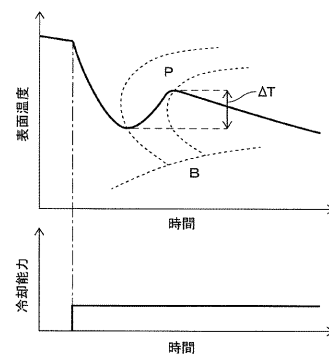
【図3】



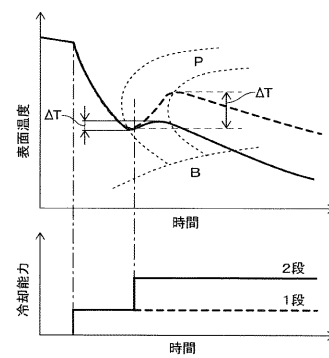
【図4】



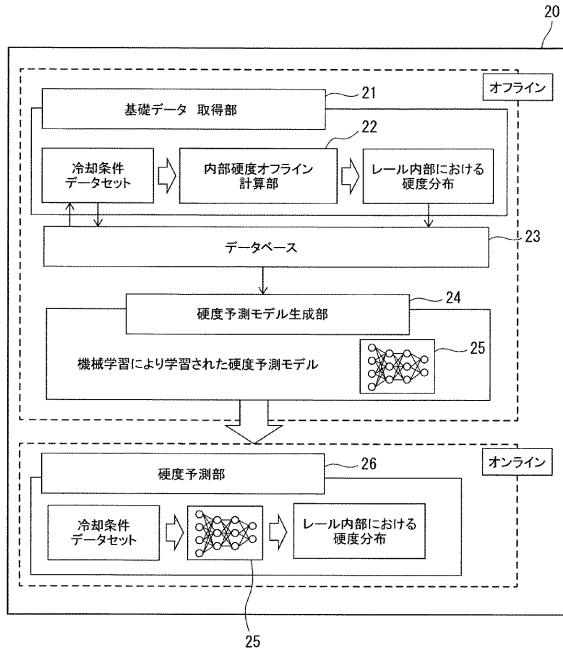
【図5】



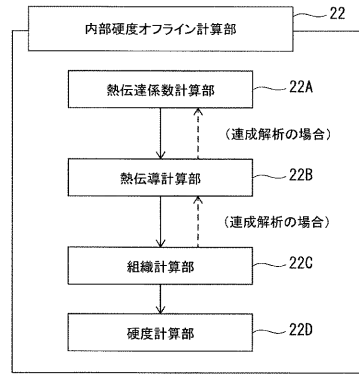
【図6】



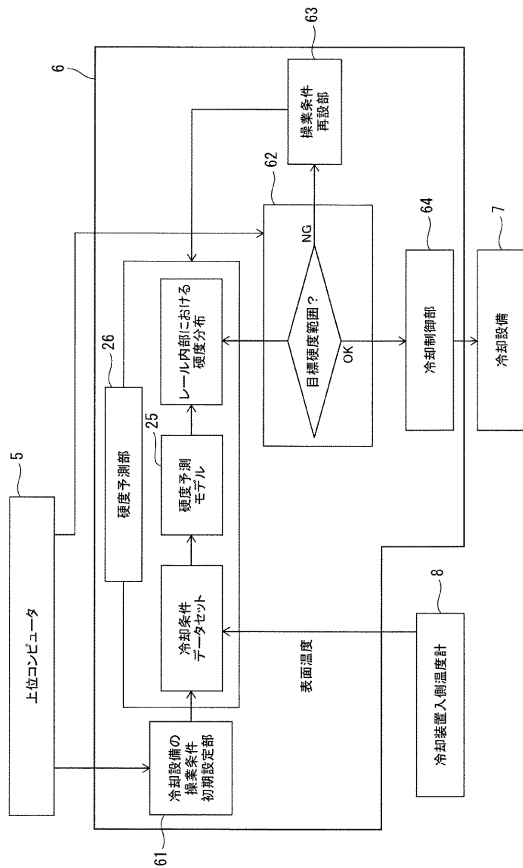
【図7】



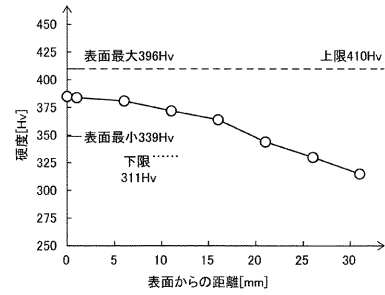
【図8】



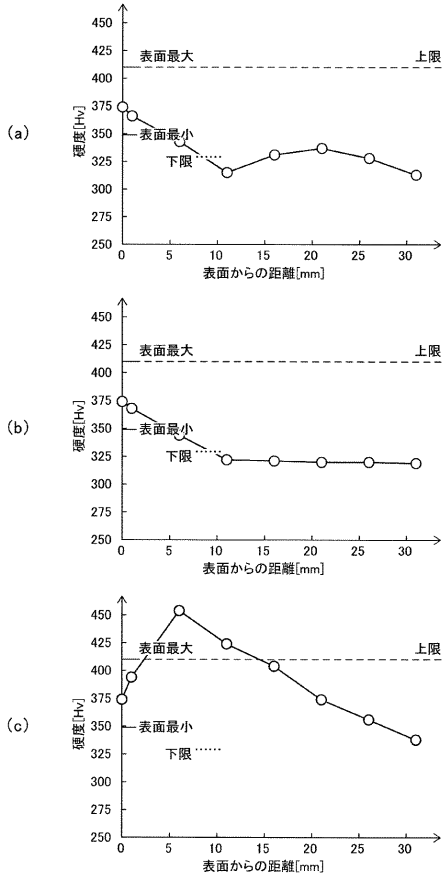
【図9】



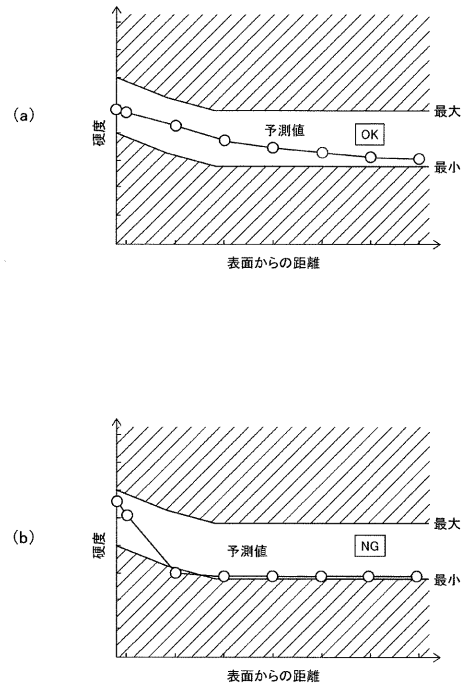
【図10】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 福田 啓之

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内

(72)発明者 上岡 悟史

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内

Fターム(参考) 4K034 AA02 AA19 BA10 CA01 DA02 DA03 DA06 DB02 DB03 FA01
FA05 FB03 FB09
4K038 BA02 CA03 DA01 DA02 DA03 EA01 EA02 EA03 FA02
4K042 AA04 BA02 BA03 DA06 DB07 DC02 DD02 DD04 DD05 DE05
DE06 DF01 EA01 EA02