

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4588694号
(P4588694)

(45) 発行日 平成22年12月1日(2010.12.1)

(24) 登録日 平成22年9月17日(2010.9.17)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 L	1/00	(2006.01)	GO 1 L	1/00	F
GO 1 L	5/00	(2006.01)	GO 1 L	5/00	Z

請求項の数 8 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2006-502269 (P2006-502269)	(73) 特許権者	507380344
(86) (22) 出願日	平成16年2月13日(2004.2.13)		マップス テクノロジー リミテッド
(65) 公表番号	特表2006-518848 (P2006-518848A)		イギリス オーエックス14 4エスエイ
(43) 公表日	平成18年8月17日(2006.8.17)		オックスフォードシャー ミルトン パ
(86) 国際出願番号	PCT/GB2004/000556		ーク 127 ノース セントラル 16
(87) 国際公開番号	W02004/077003	(74) 代理人	100082005
(87) 国際公開日	平成16年9月10日(2004.9.10)		弁理士 熊倉 禎男
審査請求日	平成19年2月13日(2007.2.13)	(74) 代理人	100067013
(31) 優先権主張番号	0304192.8		弁理士 大塚 文昭
(32) 優先日	平成15年2月25日(2003.2.25)	(74) 代理人	100086771
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		弁理士 西島 孝喜
		(72) 発明者	バトル ディヴィッド ジョン
			イギリス オーエックス12 7ディーエ
			フ オックスフォードシャー ウォンテイ
			ジ アップソープ ドライブ 29
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レール中の残留応力および熱誘起応力の測定

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レール中の残留応力および熱誘起応力を決定する方法であり、レール頭から離れたレールの部分の応力を、レールの長手軸に垂直な方向、および長手軸と平行な方向で、測定し、前記垂直な方向の応力から前記平行な方向の残留応力の推定値を決定し、そして前記平行な方向に測定された応力をこの平行な方向の推定された残留応力と比較することにより、熱誘起応力を決定する方法。

【請求項2】

応力が、前記垂直および前記平行な方向でレールのウェブにおいて測定される請求項1に記載の方法。

【請求項3】

応力が、電磁コアおよび間隔を空けた2つの磁極を含む電磁石手段と具備する電磁気プローブ、および電磁石手段の磁極間の磁気回路部分のリラクタンس、あるいは、電磁石手段の磁極間の磁束漏洩を検出するように構成されている少なくとも一つの磁気センサーを使用して、測定される請求項1あるいは請求項2に記載される方法。

【請求項4】

前記平行な方向の残留応力が、この平行な方向の残留応力と前記垂直な方向の応力との間の相関性から決定される請求項1乃至3いずれか1項に記載される方法。

【請求項5】

前記平行な方向の残留応力が、この平行な方向の残留応力と前記垂直な方向の応力の深

10

20

さに関する変化との間の相関性から決定される請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載される方法。

【請求項 6】

応力が、交番磁界を生成する電磁気プローブを使用して、測定され、交番磁界の周波数は、前記平行な方向の残留応力と前記垂直な方向の応力との間の相関性が、傾き 1 の直線グラフによって表わすことができるように選択されている請求項 4 に記載の方法。

【請求項 7】

応力が、交番磁界を生成する電磁気プローブを使用して、測定され、前記垂直な方向の応力の深さに関する変化は、交番磁界の 2 つの異なる周波数での測定から決定される請求項 5 に記載の方法。

10

【請求項 8】

応力が、交番磁界を生成する電磁気プローブを使用して、測定され、前記垂直な方向の応力の深さに関する変化は、交番磁界のいくつかの異なる周波数でなされた測定値をデコンボリューションすることにより決定される請求項 5 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、好ましくは電磁気プローブを使用して、鉄道のレールのような強磁性物体中の残留応力を決定するための方法と装置に関係する。

【背景技術】

20

【0002】

レール、ブリッジおよびパイプラインのような構造、乗り物と機械類のような複雑なメカニズム、あるいは支柱、ケーブルあるいはベアリングのような単純な装置中の応力は、温度の変化、使用による負荷および圧力の変化を含む様々な原因から発生する。

【0003】

残留応力は、構造又は装置の組立てから発生している場合もある。構造又は装置は、構築の際に何らかの曲げを受ける。組立てから発生する残留応力、任意の応力を取り除く熱処理によっても影響されるであろう。

【0004】

鋼板中の応力を測定する方法が、米国 5 828 211 (GB 2 278 450) に記述される。この方法は、板中に交番磁界を生成するための電磁コアを含んでいるプローブを使用し、次に 2 つのセンサーからの測定値を結合する。一方の測定値は、応力に引き起こされた磁気異方性 (SMA) の測定値であり、他方の測定値は、方向性有効透磁率 (DEP) の測定値である。プローブは徐々に回転させられ、磁界が板の中で複数の異なる方向を有して、測定は、このような各々の方向で行われる。プローブは、応力を表面の近くで測定することを可能にするが、浸透の深さは、周波数に依存する。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

鉄道の場合には、熱誘起応力は、(レール温度が例えば冬に下がる場合の) レール破断、および (レール温度が例えば夏に上昇する場合の) レール座屈の両方の要因である。伝統的に、ロングレール (continuous-welded rail) において、これらの問題は、最初にレールを緊張の状態敷設し、レール温度が、實際上、熱応力が過度の値に達しない様に選択される「応力無しの温度」に上昇した場合に、熱応力が 0 になるようにすることにより最小化される。レール中の熱誘起応力をモニターすることができることが望ましいであろう。しかし、これは簡単な問題ではない。原則として、応力測定技術は、熱誘起応力および残留応力 (テンソルである) の合計である全応力を測定し、熱応力を決定するために、さらに残留応力を突き止めることもしたがって必要である。これは、例えばレールの一部を切り出すにより、拘束されていないレールでの測定によって測定することができる。しかし、非破壊測定技術が望ましいであろう。(この明細書中で、用語熱応力、あるいは熱誘起応力

40

50

は、全応力と残留応力の間の差を意味する。)

【0006】

さらに、レールの長さに沿って環境条件が変化し、且つレール鋼の比較的貧弱な熱伝導率のために、平均温度からの変化が約 ± 2 未満であることを達成するのは困難であり、レール温度の正確な測定は達成するのが、非常に難しいことがさらに理解されるであろう。日中の気温測定はさらに厳しいであろう。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明によると、レール中の残留応力および熱誘起応力を決定する方法が提供される。この方法は、レールの長手軸に垂直な方向及び長手軸と平行な方向で、レール頭から離れたレールの部分の応力を測定し、そして、垂直な方向での応力から、平行な方向での残留応力の推定値を決定し、平行な方向で測定された応力を、平行な方向で推定された残留応力と比較し、熱誘起応力を決定することからなる。

10

【0008】

レール中の残留応力はレール毎、およびレールの使用時間により変わることが発見された。しかしながら、使用時間変化は、レール頭から離れた領域、即ち、ウェブ(腹面)あるいは可能性としてレールの足部の中の応力を考慮することにより最小限にすることができる。平行及び垂直の両方の方向の残留応力は、レールの製造の最終段階での、直線化によって主に引き起こされ、従って互いに関係する場合がある。ウェブでは、例えば、残留応力は、平行の方向で120乃至220Mpaの範囲の、そして直角(垂直)方向で50乃至100MPaの範囲の、典型的には圧縮である。直進路に平行の方向の熱誘起応力における変化が、約2.4 MPa/ だけであり、その結果製造工程から発生する残留の長手方向応力における変化即ち50Mpaは、熱誘起応力より一般に、はるかに大きいとは理解されるべきである。

20

【0009】

発明の1つの実施の形態では、垂直の方向の応力は平行の方向の残留応力と相関する。代替の実施の形態では、垂直の方向の応力は異なる深さで測定される。また、深さに関する垂直の方向の応力の変化は、平行の方向の残留応力と相関する。この代替アプローチは、垂直方向での応力の絶対測定を要求せず、異なる深さの応力の差の測定のみを要求するが、このことが望ましい場合がある。

【0010】

好適な応力測定方法において、プローブは、電磁石手段、電磁石手段従ってレール中に交番磁界を生成する手段、および電磁石手段による磁界を検出するように構成された磁気センサーからなり、この方法は、磁気センサーからの信号を、同相成分および直交成分へ分解し、同相成分および直交成分を、応力及びリフトオフ成分に直接マッピングし、そして、この様に決定された応力成分から応力を推定することを含む。

30

【0011】

マッピングは、信号の同相成分及び直交成分が、どの程度(一定応力で)リフトオフに関して変化するのか、且つどの程度(一定のリフトオフで)応力に関して変化するのかを決定するために、試料の標本を用いての予備較正を必要とし、較正測定から、応力及びリフトオフに対して適用可能なマッピングを、推論する。マッピングは、(異なる応力値毎の)リフトオフに関する信号変化、及び(リフトオフの異なる値毎の)応力に関する信号変化を表わす2組の線として、インピーダンス面(即ち、直交成分対同相成分のグラフ上に)に表わすことができる。両方の組の線は、曲線である。一方の線は、他方の線と直角でなく、交わっている。驚いたことに、一定リフトオフ線が一定応力のいずれか一つと交差する角度は、すべて同じであることが分かった。従って、各組の幾つかの線に沿って得られた測定は、各組の他の線の位置を決定することを可能にする。信号を解釈し、応力とリフトオフとを識別するこの方法は、WO 03/034054に詳細に記述されている。

40

【0012】

驚いたことに、この単純なマッピングは、材料特性(例えば、応力)に関する信号変化の正確な表現を与え、リフトオフ又は表面組成又は曲がり様な他の幾何学的変化を識別す

50

る簡単な方法を提供することが、分かった。

【0013】

好適には、電磁石手段は、電磁コア、及び2つの分離した磁極からなり、磁気センサーは、電磁石手段の極の間の磁気回路部分のリラクタンس(又は磁束鎖交数)を検出するように構成されるのが好ましい。さらに、そのような測定のために、物体上の一つの位置で、多くの異なる方向で磁界が得られるように構成することが望ましい。このことはその位置で回転する単一のプローブを使用して、測定値がプローブの異なる方向で得られることで達成することができる。センサーは、磁束が磁極の間で通り抜ける材料の透磁率の測定値を提供し、物体の或る位置における異なるプローブの方向での対応する測定値は、従って、異なる方向の有効透磁率を示す。プローブは、さらに2つの磁極の間に別の磁気センサーを含むことができるし、磁極の間の自由空間磁界の方向に垂直な磁束密度を検出するように構成することができる。もし材料が正確に等方性ならば、この第2のセンサーは信号を検知しないであろう。しかしながら、応力は材料の磁気特性に異方性を引き起こす。したがって、第2のセンサー(あるいは磁束回転センサー)によって受け取られた信号は、この応力に引き起こされた磁気異方性の測定値である。

10

【0014】

物体の或る位置における異なるプローブ方向での磁束回転信号の変化は、主応力軸の方向を正確に決定することを可能にする。磁束回転信号は、応力にも関係する場合がある。

【0015】

プローブは、さらに、自由空間磁界と平行な磁束密度を検出するように構成された磁極の間で第3の磁気センサー(磁束漏洩センサー)を含むことができる。この3番目のセンサーは、材料特性の変化、リフトオフおよび割れ目によって影響を受ける磁束漏洩を検知する。磁束鎖交数センサーを伴う場合は、或る位置での測定は異なる複数のプローブ向きで行われるのが好ましい。

20

【0016】

プローブからのリラクタンス(あるいは磁束鎖交数)信号は、応力無し位置に隣接するプローブを有するセンサーからの信号に等しい信号を減算することにより、減少(backed-off)、即ち処理されることが好ましい。減少された信号は、次に、応力による小さな変化が容易に検出されるように、増幅される。この減少は、同相及び直交成分に分解する以前に、達成されるが、上述した様に例えばマッピングによってリフトオフを修正する前に達成することができる。好適には、プローブからの信号は最初にデジタル化される。減少及びリフトオフ補正は、デジタル信号の分析によって達成される。

30

【0017】

一般に、より多く異なるプローブの向きが測定を行うために使用されると、応力レベルより正確に決定することができる。特定の位置での異なるプローブ向きでの測定値は、プローブを回転させることにより通常得られるであろうが、代替的に、その位置に連続的に移動される異なる向きの複数のプローブのアレイを使用して、得ることができる。異なる周波数を有する交番磁界の生成により、表面下の異なる深さでの応力の測定を(必要とされる場合)達成することができることが理解されるであろう。

【0018】

本発明が、例示のみのために、添付図面を参照して、ここで更により具体的に記述される。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

図1を参照するし、応力測定装置10はセンサーを含んでいる。磁束鎖交数、磁束回転、および磁束漏洩用のセンサーからなるセンサープローブ12を含む。プローブ12は、オペレーターが保持することができるモータ14に付けられている。したがって、モータ14は、応力が決定されるべき鋼性物体の表面(この場合、レールのウェブ)に隣接した一端を有するプローブ12を回すことができる。センサープローブ12及びモータ14は2m長のアンビカル・ケーブル17によって、信号調整/プローブ駆動ユニット18に接続されている。ユニット1

50

8は、長いアンビリカル・ケーブル19(例えば長さ300mに至る場合もある)によって、キーボード21を有するマイクロコンピュータ20内のインターフェース・ユニットに接続されている。装置10のオペレーションは、マイクロコンピュータ20中のソフトウェアによってコントロールされる。

【0020】

ここで図2を参照すると、プローブ12が縦断面で、モータ14から分離されて示されているが、内部構成部品は正面図で示されている(プローブ12内の接続ワイヤーは示されていない)。プローブ12は、外部直径16.5mm、および全体的高さ60mmを有する円筒状の真鍮ケース24を含み、上半分は縮小された直径を有しており、それによってプローブ12がモータ14に付けられている。ケース24の上半分はヘッドアンプ25を囲む。下半分は、薄層ミューメタル(高い透磁率性ニッケル/鉄/銅合金)のU字コア26を収容しており、コアの極28は、広さ7.5mmのギャップによって分離され、各々2.5mmの幅を有し、且つ厚さの10mm(図の平面から突出して)を有する。磁極28は、ケース24の下方端の開放した平面内にある。U字コア26の上方端の周りは、2つの重なったコイル30が巻かれる巻型である。一方のコイル30a(200回巻き)には、ユニット18から正弦波駆動電流が供給される。他方のコイル30b(70回巻き)は、磁束鎖交数信号を提供する。

10

【0021】

2つの磁極28の間は巻型であり、この上に、以下の記述で分かるように、高さ約4mm、広さ6mmおよび6mm平方の1670回巻きの矩形コイル32が巻かれる。巻線は、コイル32の長手軸が磁極28の中心間のラインに垂直なように、図面の面に平行に延びている。コイル32は、U字コア26のアーム間に固定された支持プレート34によって支持されており、コイル32の下面が、磁極28の面内にある。コイル32は磁束回転信号を提供する。磁束漏洩信号が必要な場合、コイルは同じ巻型に巻くことができるが、巻線は、図の面に対して垂直である。信号はすべてユニット18へ送信される前にヘッドアンプ25によって増幅される。

20

【0022】

システム10の動作中、プローブ12の下方端が鋼物体の表面に隣接し、プローブ12の長手軸が表面に垂直であるように、モータ14が支持される。所望の周波数および振幅の交流電流が駆動コイル30aに供給され、物体16中の磁界は飽和するよりも極めて小さい振幅で0に関して振れる。システム10をセット・アップするために、レール16と同じタイプであるが、応力を無視できる鋼物体を使用しての測定が、最初になされる。マイクロコンピュータ20によって受け取られた磁束鎖交数信号の同相および直交成分(即ち、駆動電流と同相成分、および90°位相が異なった成分)は各々0まで減少され、減少するのに使用した値が次に固定される。全ての後続の測定中に、磁束鎖交数成分は、これらと同じ量だけ減少される(即ち、応力無し位置で観察された成分に等しい信号を引く)。

30

【0023】

応力測定値は、レール16のウェブに隣接してプローブ12を置くことにより得ることができる。磁極28の中心を連結するラインの向き(プローブ12の向きと呼ばれる)は、表面上の或る固定した向きに関連があることが分かる。その後、モータ14は、360°の全角度に渡って一度に10°のようなステップ手法で、プローブ12を回転させるためにエネルギーを与えられる。プローブ12の各向きで、全ての信号が測定される。

40

【0024】

本発明の手順が様々なプローブで適用可能であることは理解されるであろう。プローブ12は、シリコン鉄(より高い磁界を提供することができる)のような異なる材料のU字コア26の使用によって修正することができるし、実際は、駆動コイルを、空気コアとすることができる。プローブは異なる形かサイズとすることができる。約3mmと75mmの間のサイズの範囲のプローブが、異なる目的のために使用される。特に、レールの測定のためには、20mmから40mmの範囲、例えば30mmの直径のプローブが適切であろう。

【0025】

磁束回転信号は、プローブの向きに応じて正弦波的に変わる。したがって、磁気回転信号が最大値と最小値を持っている向きを決定することができる。これら2つの向きの間の

50

中間の方向が、主応力軸の方向である。したがって、主応力方向が未知の場合、磁束回転の測定は有用である。磁束鎖交数および磁束漏洩の値は、さらに、プローブの向きに応じて(互いに逆位相で)正弦波的に変わる。また、それらの値は主応力方向で観察される。主応力方向が既に知られている場合、その代わりにプローブ12は単にそれらの方向に向けられ、測定が行われ、プローブ12の回転は必要ではないであろう。

【0026】

垂直(即ち、長手軸に垂直)および長手軸方向のウェブの応力の値は、それらの方向に向けられたプローブ12で、磁束鎖交数の実験測定値から決定することができる。このことは、レール16と同じタイプの材料のサンプルを、様々な異なる応力にさらした際の測定値を使用して、装置10を較正することを要求する。これは、試験リグ中の矩形片サンプルで行うことができ、磁束鎖交数測定は、主応力方向が試験リグ軸と整合するサンプルの中心で行われる。図3は、このような試験リグで得られた減少された磁束鎖交数の同相および直交成分を示す。測定は、70Hzの駆動周波数で行われ、試料は、鋼棒である。第1の組の測定が、リフトオフ値Lを次第により大きくして、応力S無しで行われた。これはリフトオフ線Aを与える。リフトオフは、0~220ミクロンの間で変化する。同様のリフトオフ線Aは、他の固定された応力の値に対して得られている。S=250 MPaの緊張および圧縮に対する線が示されている。その後、測定は、リフトオフの異なる固定した値Lの範囲で、応力S(圧縮と緊張の両方)を変化して、行われ、線Bが提供された。

10

【0027】

線Aは曲がっており、線Bは線Aに直角ではなく、それらは、いずれかのリフトオフ線Aに沿って実質的に一定の角度で交差する。従って、少数のそのような線AおよびBをプロットするのに十分な較正測定を行うことが単に必要であり、他の線の形は予測することができる。

20

【0028】

この仕方でプローブ12を較正した後には、線が、リフトオフによる変化と、応力による変化とを容易に識別することを可能とするので、応力測定値は、磁束鎖交数信号(解決され且つ減少された)についての観察から容易に得ることができる。インピーダンス面中(即ち、同相成分に対する直交成分のグラフ中)のどんな特定の位置も、応力の特定の値およびリフトオフの特定の値に相当する。(同相、直交)座標と(応力、リフトオフ)座標の間のマッピングは、そのような線を参照してグラフ的に、あるいは計算によって行うことができる。例えば、磁束鎖交数信号がXと印が付けられた位置の同相および直交成分を有している場合、この磁束鎖交数信号は、約80ミクロンのリフトオフおよび約125のMPaの応力に相当する。代替的に、0リフトオフで得られる位置Zの同相および直交成分を見つけるために、この値Xは一定の応力の線Aに沿って(破線Yに沿って)翻訳することができる。

30

【0029】

この方法で見出された応力の値は、磁束鎖交数信号の値を提供する一軸の応力であることが理解されるであろう。応力が実際に二軸である場合には、試験リグで十字形の試料で更なる較正が実行される必要がある。磁束鎖交数測定は、主応力方向が試験リグの軸と整合する場所である試料の中心でなされる。従って、グラフ又はマップが、1つの軸(即ち、X軸)に対する応力の一連の値、および別の軸(即ち、Y軸)の中の応力の一連の値の対して得ることかでき、付随する線の各々は、X軸に沿った見かけ上の一軸応力の特定の値を与える二軸応力の値を示す。また、同様のグラフが、Y軸に沿った見かけ上の一軸応力の特定の値を与える、二軸応力の値を示す線を伴って得ることができる。従って、上述されるように得られた2つの主応力軸に沿った見かけ上の一軸応力の測定から、二軸応力を決定することができる。

40

【0030】

二軸応力がグラフ的にあるいはこの方法での計算によってのいずれかによって決定することは再び理解されるであろう。一軸応力(Mpa単位)の見かけ上の値をこの目的のために使用されることができる。代替的に、図3に関して記述されたようなリフトオフの効果を除くことによって得られた、同相又は直交値のいずれかの磁束鎖交数信号の数値(m

50

V単位)が使用されてもよい。リフトオフを修正する上記の方法が、磁束鎖交数信号に関して記述されたが、この方法は磁束漏洩信号に等しく適用可能である。

【0031】

レール鋼の場合には、リフトオフが修正されている場合(例えば上述されたように)、磁束鎖交数および磁束漏洩の両方に対する信号は、応力とほとんど直線的な関係があることが分かった(磁束鎖交数信号減少すると磁束漏洩信号が増加することは理解されるであろう。)。測定は、異なる年数の、異なるメーカーからの9つの異なるレールに対して、熱誘起応力が無い切断部であって、長さ3mあるいはより長い、同じ等級の鋼(220の等級)、および断面(BS 113A)の切断部で行われた。残留応力が緩和したかもしれない領域を回避するために、測定はすべて、両端から0.3m以上離れて行われた。いくつかの異なる測定が、各レールでその長さに沿って行われた。長手方向および垂直方向(即ち、長手軸に対して平行および垂直)の信号間に、従って、長手方向と垂直方向の残留応力間に、明瞭な正相関であることが分かった。

10

【0032】

今図4を参照する、これは、垂直方向(L1)の磁束鎖交数信号および長手方向(L2)の磁束鎖交数信号をグラフ的に示す。各信号は、リフトオフに対して修正されており、×印は、9つの異なるレール標本の各々に沿って得られた測定値に対する平均値および直線Pからの不一致の標準偏差を示しており、直線Pに沿った散乱は示されていない(軸上の数値は信号の電圧に比例する、スケール上の10は23mVに対応する。)。正相関であることは極めて明確である。また、直線グラフPは次の方程式によって表わせることができる。

20

【0033】

$$L1 = 1.398 L2 + 30.04$$

【0034】

垂直方向と長手方向の磁束鎖交数の間のこの実験的に観察された関係は、垂直および長手方向の残留応力との間の直線的な関係に対応する。現場(したがって、熱誘起応力が存在するかもしれない)のレールの垂直方向の応力を測定することによって、この関係は、長手方向での残留応力を決定することを可能にする。これと、長手方向の観察された応力との間の差は、従って、熱誘起応力と呼ばれるものを表わしている。

【0035】

グラフ上の菱形Q1およびQ2、および正方形R1およびR2は、切断を繰り返し、再び応力を加え、そして溶接した後の、レールに沿った異なる場所での現場の単一のレールになされた測定値を示す。菱形Q1は、切断の前のレールの測定値を示す。また、Q2は、レールが切断された後の測定値を示す。この切断条件で、レールは、拘束されておらず、したがって、熱誘起応力は存在しないはずである。予想通りに、Q2は直線グラフPに非常に接近している。正方形のR1は、レールが続いて再び応力を受け溶接された後の同じレール上の異なる位置で測定を示す。また、R2は、レールが再び切断された後の測定を示す。もう一度、切断状態では、熱誘起応力がないことが予期される。これは、直線PへのR2の接近によって確認される。

30

【0036】

Q1のような測定から、全長手方向応力が値 $L2 = -11.6$ に対応し、レールを切断すること無しに、残留応力が値 $L2 = -15.3$ (即ち、L1の同じ値でのラインP上のL2の値)に対応することを、予測できることが、分かる。従って、熱誘起応力は、これらの2つの値の間の差に対応する。熱応力は、例えば長手方向応力が 2.4MPa/ で変化すると仮定することにより、応力無しの温度によって表現することができる。ラインPと平行な薄層線の各々は、測定温度と応力の無い温度との間の 10 の差を表わす。例えば、Q1は測定温度よりも約 15 上の応力の無い温度に対応する。その一方でR1は測定温度よりも約 20 上の応力の無い温度に対応する。

40

【0037】

このように得られた応力の無い温度の測定は、歪みゲージを使用し、レールを切断して測定されたものと比較することができる。或る場合において、上述されたようにして決定

50

された応力無しの温度の測定値は、24 および31 の結果を与えた。歪みゲージおよびレール切断を使用して決定された応力無しの温度は、26 および28 の結果を与えた。

【0038】

上述の測定は磁束鎖交数を利用するが、代替的に磁束漏洩信号を使用することもできた。

【0039】

上記の信号は70Hzで得られた。しかし、代替的に、測定は異なる周波数でなされることができる。各場合において、垂直および長手方向の残留応力間に同様の関係があろう。しかしながら、500Hzのようなより高い周波数の測定はレールへより浅い深さにしか入り込まず、このことから、垂直方向応力が表面の近くでより大きく、より急峻な直線Pを与えることが分かった。道具の性能の如何なる不安定性も、垂直および長手方向応力の測定値に等しく影響する傾向がある。したがって、周波数は、傾きが1.0である直線Pを提供するように選択するのが好ましい。そのような不安定性は線Pと平行に、測定ポイントを移動させるので、応力の無い温度の測定の正確さに影響しないであろう。

10

【0040】

更なる代替の実施の形態では、長手方向残留応力は、深さに関しての垂直方向応力の変化によって、補正することができる。

いくつかの異なる周波数で得られた測定から、(米国2003/0071614Aに記述されたように)深さに関する変化に対する関数形態を想定することによって、測定値を、デコンボリューションし、異なる深さにおける垂直方向応力の値を得ることが可能である。このことは、深さに関する応力の正確な変化を決定することを可能にする。より簡単には、測定は、2つの異なる周波数で行われ、測定値間の差は、長手方向応力の測定値と相関している。

20

【0041】

本発明が非破壊的方法で、応力が無い温度を決定することを可能にすることが理解されるでしょう。本発明は、直線および曲線トラックの両方に適用可能である。本発明は、レールが枕木から分離されることは要求しない。本発明は、レールが緊張または圧縮のいずれかにあっても適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0042】

【図1】 応力の測定のための装置の概略図を示す。

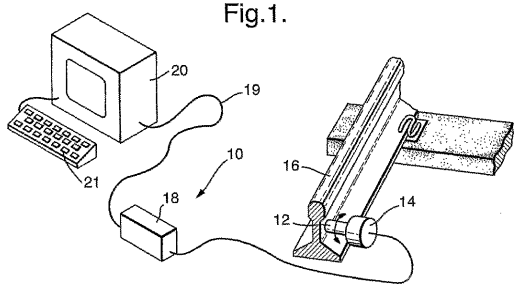
30

【図2】 図1の装置で使用するためのプローブの縦断面図を示す。

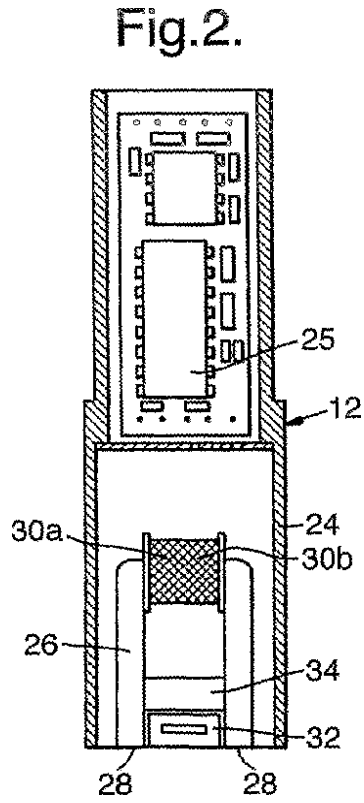
【図3】 リフトオフの変化および応力の変化に関する磁束鎖交数の減少された直交及び同相成分の変化をグラフ的に示す。

【図4】 レール・ウェブの垂直及び長手方向の応力を表わす信号間の相関性をグラフ的に示している。

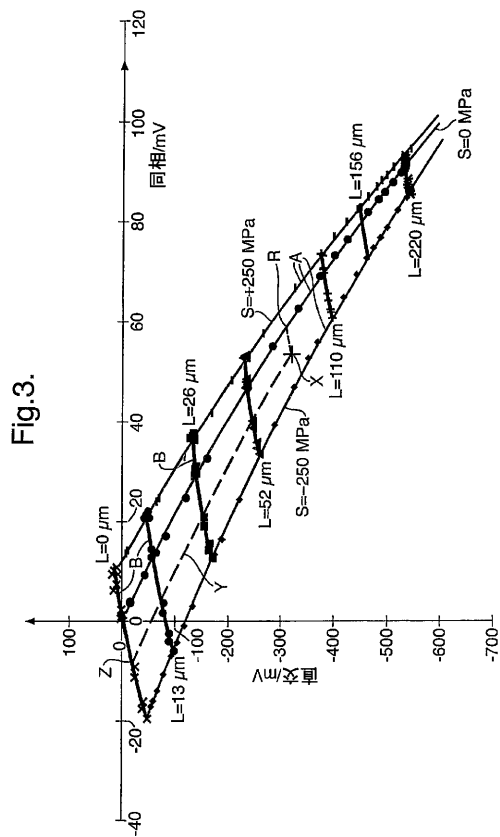
【 図 1 】



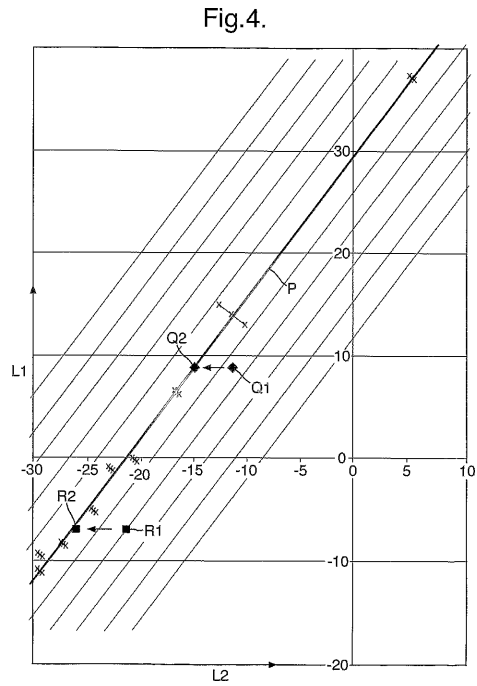
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 ダルゼル ウィリアム
イギリス エスオー23 0ピーピー ハンプシャー ウィンチェスター セント キャサリンズ
ロード 21
- (72)発明者 セイアー ピーター ジョン
イギリス オーエックス2 0ディーエイ オックスフォードシャー オックスフォード ヒル
ビュー ロード 49

審査官 田邊 英治

- (56)参考文献 特開昭58-213903(JP,A)
特表平08-508343(JP,A)
特開昭58-216924(JP,A)
特開2001-281073(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- G01L 1/00- 1/26
G01L 5/00- 5/28
G01N 27/72-27/90