

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2008年10月23日 (23.10.2008)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2008/126553 A1

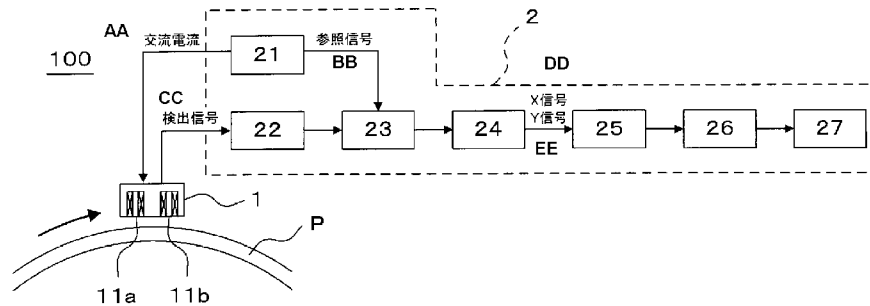
- (51) 国際特許分類:  
G01N 27/80 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/054334
- (22) 国際出願日: 2008年3月11日 (11.03.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2007-064843 2007年3月14日 (14.03.2007) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友金属工業株式会社 (Sumitomo Metal Industries, Ltd.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 兵藤 繁俊 (HY-ODO, Shigetoshi) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内 Osaka (JP). 暮石 哲 (KUREISHI, Satoshi) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号 住友金属工業株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 大中 実 (OHNAKA, Minoru); 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場2丁目3番6号 第一住建長堀駅前ビル4階 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN,

[ 続葉有 ]

(54) Title: EDDY CURRENT INSPECTION METHOD, STEEL PIPE INSPECTED BY THE EDDY CURRENT INSPECTION METHOD, AND EDDY CURRENT INSPECTION DEVICE FOR CARRYING OUT THE EDDY CURRENT INSPECTION METHOD

(54) 発明の名称: 渦流検査方法、該渦流検査方法で検査した鋼管、及び該渦流検査方法を実施するための渦流検査装置

[ 図1 ]



AA COURANT ALTERNATIF  
 BB SIGNAL DE REFERENCE  
 CC SIGNAL D'INSPECTION  
 DD SIGNAL X  
 EE SIGNAL Y

(57) Abstract: Provided is an eddy current inspection method which can surely detect a high-hardness portion existing locally in a magnetic metal material and surely check whether the high-hardness portion has been removed after the treatment for removing the high-hardness portion. The eddy current inspection method detects a high-hardness portion locally existing in the metal material as follows. Frequency of AC current supplied to a differential coil is set so that a phase difference between a magnetic fluctuation signal and a lift-ff signal of the metal material P detected by the differential coil (1) is not smaller than 135 degrees and the high-hardness portion locally existing in the metal material is detected according to the amplitude and the phase of the detection signal outputted from the differential coil.

(57) 要約: 磁性を有する金属材料に局部的に存在する高硬度部を確実に検出可能であると共に、高硬度部を除去するための手入れ処理を施した後に、該高硬度部が除去さ

[ 続葉有 ]



WO 2008/126553 A1



KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

---

れているか否かを確実に確認することができる渦流検査方法を提供する。本発明に係る渦流検査方法は、差動型コイル1によって検出した金属材料Pの磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^\circ$ 以上となるように、前記差動型コイルに通電する交流電流の周波数を設定し、前記差動型コイルから出力された検出信号の振幅及び位相に基づいて、前記金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出することを特徴とする。

## 明 細 書

渦流検査方法、該渦流検査方法で検査した鋼管、及び該渦流検査方法を実施するための渦流検査装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、磁性を有する鋼管等の金属材料を渦流検査する方法、該渦流検査方法で検査した鋼管、及び該渦流検査方法を実施するための渦流検査装置に関する。特に、本発明は、金属材料に局部的に存在する高硬度部を確実に検出可能であると共に、高硬度部を除去するためにグラインダー研削等の手入れ処理を施した後に、該高硬度部が除去されているか否かを確実に確認することができる渦流検査方法、該渦流検査方法で検査した鋼管、及び該渦流検査方法を実施するための渦流検査装置に関する。

### 背景技術

[0002] 鋼管等の金属材料の製造過程では、熱処理時における浸炭、脱炭、脆化相の析出等の組織変化による金属材料の脆化や、搬送時における金属材料同士の衝突或いは金属材料と搬送設備との衝突や、冷間加工時における焼き付き等に起因した強加工などによって、金属材料の組織が局部的に変化する。そして、変化しない部位と比べて、場合によってはビッカース硬度で50Hv以上高い局所的な高硬度部が発生することが知られている。金属材料にこのような局所的な高硬度部が発生すれば、該高硬度部での金属材料の脆化や耐食性の劣化による破損が懸念される。

[0003] このため、金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出する必要があると共に、該高硬度部を除去するための手入れ処理(グラインダー研削等の処理)を施した後に、実際に高硬度部が除去されたか否かを確認する必要がある。

[0004] しかしながら、人手による目視や、金属材料に圧子を圧入して圧入の大きさや圧子の超音波共振周波数により硬度を測定する簡易硬度計を用いた高硬度部の検出や高硬度部除去の確認は、連続的な測定が困難であるために時間が掛かったり、判定にバラツキが生じるという問題がある。このため、局所的な高硬度部を非接触・非破壊的方法で検出すると共に、高硬度部を除去するための手入れ処理を施した後、実

際に高硬度部が除去されていることを非接触・非破壊的方法で確認できれば、高硬度部の検出や高硬度部除去の確認の効率や確実性を高めることが可能である。

- [0005] 金属材料の硬度や硬度の変化部を非接触で非破壊的に検出する技術として、例えば、日本国特開昭58-102148号公報には、鋼板が磁化されることにより変化した磁界(透過磁気)が鋼板の硬度と相関があることを利用した技術が開示されている。日本国特開昭59-108970号公報には、鋼材の磁気特性(保持力、残留磁化、飽和磁化、透磁率、ヒステリシス損)と機械的性質(硬さ、焼き入れ深さ、強度、結晶粒度)には相関があることを利用した技術が開示されている。日本国特開昭60-185158号公報には、検査コイル及び比較コイルを含むブリッジ回路を用いて鋼管の材質(硬度、炭素含有量)や性状の変化を検出する技術が開示されている。日本国特表平9-507570号公報には、鋼の複数の磁氣的パラメータを測定することによって鋼の硬度を概算する技術が開示されている。
- [0006] また、日本国特開平8-178902号公報には、鋼板の一部表面が浸炭し、結晶組織が微細化した異常組織欠陥部を磁気飽和型の渦流センサを用いて検出する技術が開示されている。日本国特開昭62-147356号公報には、渦流検査装置を用いたステンレス鋼材のシグマ相検査方法が開示されている。
- [0007] さらに、日本国特開2003-232777号公報には、熱処理によって生じる鋼管や丸棒鋼の表面脱炭層を除去する旋削の削り残し部を渦電流を利用して検出する方法が開示されている。
- [0008] 上記のように、渦流検査方法等によって金属材料の磁気特性の変化を測定することにより、該金属材料の硬度等の機械的性質の変化部を非破壊的に検出できることや、手入れ処理後に異常部が除去されているか否かを渦流検査方法によって確認する方法は既に知られている。従って、これら公知技術を適用し、金属材料に存在する局所的な高硬度部を渦流検査方法で検出すると共に、高硬度部を除去するための手入れ処理を施した後、実際に高硬度部が除去されていることを渦流検査方法で確認することが考えられる。
- [0009] しかしながら、金属材料が磁性材料である場合には、渦流検査を行った際に、局所的な高硬度部での検出信号に対して、金属材料固有の磁性変動(磁性ムラ)に起因

した検出信号や、金属材料と検出コイルとの距離(リフトオフ)変動に起因した検出信号がノイズとして重畳されるため、正確な高硬度部の検出が困難となる場合がある。さらには、高硬度部をグラインダー研削等で除去した部分は、金属材料表面が削られてリフトオフ変動によるノイズ信号がより大きくなる。このため、局所的な高硬度部をより確実に検出可能な渦流検査方法が求められている。

### 発明の開示

[0010] 本発明は、斯かる従来技術の問題点を解決するべくなされたものであり、磁性を有する金属材料に局所的に存在する高硬度部を確実に検出可能であると共に、高硬度部を除去するための手入れ処理を施した後に、該高硬度部が除去されているか否かを確実に確認することができる渦流検査方法、該渦流検査方法で検査した鋼管、及び該渦流検査方法を実施するための渦流検査装置を提供することを課題とする。

[0011] 前記課題を解決するべく、本発明の発明者らは鋭意検討した結果、以下の(1)～(4)の知見を得た。

(1)いわゆる自己比較方式の差動型コイルを用いることにより、金属材料固有の磁性変動に起因した検出信号(磁性変動信号)の振幅と、金属材料と差動型コイル(特に検出コイル)とのリフトオフ変動に起因した検出信号(リフトオフ信号)の振幅とを抑制可能である。

(2)差動型コイルに通電する交流電流の周波数(検査周波数)を調整することにより、磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差を調整可能である。

(3)上記(2)の位相差を $135^\circ$ 以上に調整すれば、局所的な高硬度部での検出信号の位相が、磁性変動信号の位相とリフトオフ変動信号の位相との間に確実に位置する(局所的な高硬度部での検出信号の位相と、磁性変動信号の位相と、リフトオフ信号の位相とを確実に識別可能である)。

(4)従って、金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出するための情報として、検査周波数調整後の差動型コイルから出力された検出信号の振幅のみならず位相も用いれば、高硬度部を確実に検出可能である。

[0012] 本発明は、上記発明者らの知見に基づき完成されたものである。すなわち、本発明は、磁性を有する金属材料に対向配置した差動型コイルを前記金属材料に対して相

対移動させながら、前記差動型コイルに交流電流を通電して前記金属材料に交流磁界を作用させると共に、前記交流磁界によって前記金属材料に誘起された渦電流を前記差動型コイルで検出することにより、前記金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出する渦流検査方法であって、前記差動型コイルによって検出した前記金属材料の磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^{\circ}$ 以上となるように、前記差動型コイルに通電する交流電流の周波数を設定し、前記差動型コイルから出力された検出信号の振幅及び位相に基づいて、前記金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出することを特徴とする渦流検査方法を提供するものである。

- [0013] 本発明における「差動型コイル」とは、渦電流を検出するための検出コイルが一对のコイルからなり、各コイルでの検出信号の差を出力するように構成された、いわゆる自己比較方式のコイルを意味する。また、本発明における「差動型コイル」には、検出コイルが交流磁界を作用させる励磁コイルの機能を兼ねる自己誘導型コイル、及び、検出コイルと励磁コイルとが別体とされた相互誘導型コイルの双方が含まれる。また、本発明における「磁性変動信号」とは、差動型コイルによって検出される検出信号の内、金属材料固有の磁性変動(磁性ムラ)に起因した検出信号を意味する。さらに、本発明における「リフトオフ信号」とは、差動型コイルによって検出される検出信号の内、金属材料と差動型コイル(特に検出コイル)との距離(リフトオフ)変動に起因した検出信号を意味する。
- [0014] 上記の検出対象となる局所的な高硬度部は、例えば、前記金属材料の他の部位(局所的な高硬度部が存在しない健全部位)よりもビッカース硬度で50HV以上高い部位とされる。
- [0015] なお、手入れ処理によって高硬度部が除去されたか否かを確実に確認するには、金属材料に存在する局所的な高硬度部を除去するための手入れ処理を施した後、前記渦流検査方法で前記金属材料を検査することにより前記高硬度部が除去されているか否かを確認することが好ましい。
- [0016] また、前記渦流検査方法で検出した金属材料に存在する局所的な高硬度部を除去するための手入れ処理を施した後、前記渦流検査方法で前記金属材料を再度検査することにより前記高硬度部が除去されているか否かを確認してもよい。

- [0017] また、本発明は、前記渦流検査方法によって、前記局所的な高硬度部が除去されていることを確認した鋼管としても提供される。
- [0018] さらに、本発明は、磁性を有する金属材料に対向配置され、前記金属材料に交流磁界を作用させて渦電流を誘起すると共に、前記金属材料に誘起された渦電流を検出する差動型コイルと、前記差動型コイルに交流電流を通電すると共に、前記差動型コイルから出力された検出信号に基づいて、前記金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出する信号処理部とを備え、前記信号処理部は、前記差動型コイルによって検出した前記金属材料の磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^\circ$ 以上となるように、前記差動型コイルに通電する交流電流の周波数を設定すると共に、前記差動型コイルから出力された検出信号の振幅及び位相に基づいて、前記金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出することを特徴とする渦流検査装置としても提供される。
- [0019] 本発明によれば、磁性を有する金属材料に局所的に存在する高硬度部を確実に検出可能であると共に、高硬度部を除去するための手入れ処理を施した後に、該高硬度部が除去されているか否かを確実に確認することができる。

#### 図面の簡単な説明

- [0020] [図1]図1は、本発明の一実施形態に係る渦流検査装置の概略構成を示す模式図である。
- [図2]図2は、検査周波数を変更した場合において、図1に示す差動型コイルによって検出される鋼管の磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差の変化を示すグラフである。
- [図3]図3は、図1に示す差動型コイルによって検出される各検出信号(高硬度部信号、磁性変動信号、リフトオフ信号)の位相関係を模式的に示す図である。
- [図4]図4は、検査周波数を変更した場合に得られる、局所的な高硬度部の硬度(ピッカース硬度)と、図1に示す判定部によって演算された高硬度部信号の振幅との関係の一例を示すグラフである。

#### 発明を実施するための最良の形態

- [0021] 以下、添付図面を適宜参照しつつ、本発明の一実施形態について、被検査材であ

る金属材料が磁性を有する鋼管(二相ステンレス鋼)である場合を例に挙げて説明する。

[0022] <渦流検査装置の構成>

図1は、本発明の一実施形態に係る渦流検査装置の概略構成を示す模式図である。図1に示すように、本実施形態に係る渦流検査装置100は、差動型コイル1と、信号処理部2とを備えている。

[0023] 差動型コイル1は、鋼管Pの外面对向配置され、鋼管Pに交流磁界を作用させて渦電流を誘起すると共に、鋼管Pに誘起された渦電流を検出するように構成されている。具体的に説明すれば、本実施形態に係る差動型コイル1は、鋼管Pに交流磁界を作用させる励磁コイル(図示せず)と渦電流を検出するための検出コイルとが別体とされた相互誘導型コイルである。また、本実施形態に係る差動型コイル1は、検出コイルが一对のコイル11a、11bからなり、各コイル11a、11bでの検出信号の差を出力するように構成された、いわゆる自己比較方式のコイルとされている。励磁コイルは、鋼管Pの外面に垂直な方向に交流磁界を作用させる一方、コイル11a、11bは、渦電流によって生じる鋼管Pの外面に垂直な方向の交流磁界の変化を検出する。各コイル11a、11bは鋼管Pの周方向に離間して配置されており、差動型コイル1を鋼管Pの周方向に相対移動させれば、差動型コイル1からは各コイル11a、11bに対向する鋼管Pの部位についての検出信号の差が出力される。このように自己比較方式の差動型コイル1を用いることにより、いわゆる標準比較方式のコイルを用いる場合に比べて、リフトオフ信号や磁性変動信号の振幅を抑制することが可能である。

[0024] 信号処理部2は、差動型コイル1に交流電流を通电すると共に、差動型コイル1から出力された検出信号に基づいて、鋼管Pに存在する局所的な高硬度部を検出するように構成されている。具体的には、本実施形態に係る信号処理部2は、発信器21、増幅器22、同期検波器23、位相回転器24、ハイパスフィルタ25、A/D変換器26及び判定部27を備える。

[0025] 発信器21は、差動型コイル1(具体的には、差動コイル1の励磁コイル)に所定周波数の交流電流を供給する。これにより、前述のように、差動型コイル1から鋼管Pの外面向かう交流磁界が生じ、鋼管Pに渦電流が誘起される。なお、差動型コイル1に



通電する交流電流の周波数(検査周波数)の設定方法については後述する。

- [0026] 差動型コイル1から出力された検出信号(具体的には、各コイル11a、11bでの検出信号の差)は、増幅器22によって増幅された後、同期検波器23に出力される。なお、増幅器22は、一定の増幅率で検出信号を増幅する構成の他、AGC(Auto Gain Control)機能を具備する構成とすることも可能である。
- [0027] 同期検波器23は、発振器21から出力される参照信号に基づき、増幅器22の出力信号を同期検波する。具体的に説明すれば、発振器21から同期検波器23に向けて、差動型コイル1に供給する交流電流と同一の周波数で同一の位相を有する第1参照信号と、該第1参照信号の位相を $90^\circ$ だけ移相した第2参照信号とが出力される。そして、同期検波器23は、増幅器22の出力信号から、第1参照信号の位相と同位相の信号成分(第1信号成分)及び第2参照信号の位相と同位相の信号成分(第2信号成分)を分離・抽出する。分離・抽出された第1信号成分及び第2信号成分は、それぞれ位相回転器24に出力される。
- [0028] 位相回転器24は、同期検波器23から出力された第1信号成分及び第2信号成分の位相を互いに同一の所定量だけ回転(移相)し、例えば、第1信号成分をX信号、第2信号成分をY信号として、ハイパスフィルタ25に出力する。なお、位相回転器24から出力されるX信号及びY信号は、互いに直交する2軸(X軸、Y軸)で表されるX-Yベクトル平面においていわゆるリサージュ波形と称される信号波形(すなわち、振幅をZ、位相を $\theta$ として極座標(Z、 $\theta$ )で表した差動型コイル1の検出信号波形(正確には、増幅器22によって増幅した後の検出信号波形))を、X軸及びY軸にそれぞれ投影した成分に相当することになる。位相回転器24による位相回転は、例えば、磁性変動信号がX-Yベクトル平面のX軸上に位置するように調整する目的でなされる。
- [0029] ハイパスフィルタ25は、位相回転器24から出力されたX信号及びY信号から所定の低周波成分を除去し、A/D変換器26に出力する。
- [0030] A/D変換器26は、ハイパスフィルタ25の出力信号をA/D変換し、判定部27に出力する。
- [0031] 判定部27は、例えば、後述の演算処理を行うためのプログラムがインストールされ

た汎用のパーソナルコンピュータ等から構成される。判定部27は、A/D変換器26の出力データ(すなわち、ハイパスフィルタ25によって低周波成分が除去されたX信号及びY信号をA/D変換したデジタルデータ。以下、X信号データ及びY信号データという)に基づいて、鋼管Pに存在する局所的な高硬度部を検出する。具体的に説明すれば、判定部27は、先ず最初に、入力されたX信号データ及びY信号データに基づき、差動型コイル1の検出信号(正確には、増幅器22によって増幅し、ハイパスフィルタ25によって低周波成分を除去した後の検出信号)の振幅Z及び位相 $\theta$ を演算する。X信号データの値をX、Y信号データの値をYとすると、振幅Z及び位相 $\theta$ は、それぞれ下記の式(1)及び(2)によって演算される。

$$Z = (X^2 + Y^2)^{1/2} \quad \dots (1)$$

$$\theta = \tan^{-1}(Y/X) \quad \dots (2)$$

[0032] 次に、判定部27は、前記演算した振幅Zが予め定めたしきい値よりも大きいか否かを判定する。振幅Zが予め定めたしきい値以下である場合、判定部27は、この振幅Zを有する検出信号は局所的な高硬度部での検出信号ではないと判定する。一方、振幅Zが予め定めたしきい値よりも大きい場合には、判定部27は、前記演算した位相 $\theta$ が予め定めた範囲内にあるか否かを判定する。位相 $\theta$ が予め定めた範囲内にある場合、判定部27は、この振幅Z及び位相 $\theta$ を有する検出信号は鋼管Pに存在する局所的な高硬度部での検出信号(以下、適宜、「高硬度部信号」という)であると判定して、局所的な高硬度部を検出したことを知らせる所定のアラームを出力する。

[0033] <検査周波数の設定方法>

以上に説明した構成を有する渦流検査装置100において、信号処理部2(発振器21)から差動型コイル1に通電する交流電流の周波数(検査周波数)は、差動型コイル1によって検出した鋼管Pの磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^\circ$ 以上となるように設定される。具体的には、検査周波数を適宜変更して、鋼管Pの健全部位(局所的な高硬度部が存在しない部位)を検査し、判定部27によって演算される鋼管Pの磁性変動信号の位相(検出した磁性変動信号のうち最大の振幅を有する磁性変動信号の位相)と、リフトオフ信号の位相(検出したリフトオフ信号のうち最大の振幅を有するリフトオフ信号の位相)との差が $135^\circ$ 以上となる検査周波数を設定

値として選択すればよい。

[0034] 以下、鋼管Pの磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^\circ$ 以上となるように検査周波数を設定する理由について具体的に説明する。

本発明の発明者らによる検査試験の結果、高硬度部信号の位相は、磁性変動信号の位相とリフトオフ信号の位相との間に位置する傾向のあることが分かった。しかしながら、高硬度部信号の位相が高硬度部の組織状態等によって変動する上、磁性変動信号やリフトオフ信号の位相も変動するため、磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が小さいと、高硬度部信号に磁性変動信号及びリフトオフ信号がノイズとして重畳される場合(高硬度部信号の位相と、磁性変動信号又はリフトオフ信号の位相とが同程度となる場合)があることも分かった。このため、振幅のみならず位相も情報として用いて、高硬度部信号を確実に検出するには、磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差をできるだけ大きくする必要があることに想到した。

[0035] 図2は、検査周波数を変更した場合において、差動型コイル1によって検出される鋼管Pの磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差の変化を示すグラフである。本発明の発明者らによる検査試験の結果、図2に示すように、検査周波数を高めれば高めるほど、磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が大きくなることが分かった。そして、磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^\circ$ 以上となるように検査周波数を設定(本実施形態では、検査周波数を64kHzに設定)すれば、高硬度部信号の位相が、磁性変動信号の位相とリフトオフ変動信号の位相との間に確実に位置すること(高硬度部信号の位相と、磁性変動信号の位相と、リフトオフ信号の位相とを確実に識別可能であること)が分かった。

[0036] 図3は、差動型コイル1によって検出される各検出信号(高硬度部信号、磁性変動信号、リフトオフ信号)の位相関係を模式的に示す図である。具体的には、図3は、検査周波数を64kHzとした場合に、位相回転器24から出力されるX信号及びY信号に基づいて算出される各検出信号に対応するリサージュ波形の延びる方向を模式的に示す図である。図3に示すように、検査周波数を64kHzとし、X軸上(位相 $180^\circ$ の位置)に鋼管Pの磁性変動信号が位置するように位相回転器24の回転量(移相量)を調整すれば、リフトオフ信号の位相は $45^\circ$ よりも小さくなり(すなわち、磁性変動

信号とリフトオフ信号との位相差が $135^\circ$ 以上となり)、高硬度部信号の位相は、磁性変動信号の位相とリフトオフ信号の位相との間(具体的には、位相 $70^\circ$ から $135^\circ$ の間)で検出されることが分かった。このように、磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^\circ$ 以上となるように検査周波数を設定すれば、高硬度部信号の位相と磁性変動信号又はリフトオフ信号の位相とが同程度となることなく、位相の差異によって高硬度部信号を正確に検出することが可能である。

[0037] 以上に説明した理由により、前述のように、信号処理部2では、鋼管Pの磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^\circ$ 以上となるように検査周波数を設定している。ただし、検査周波数を変更することによって渦電流の浸透深さが変化する(検査周波数を高くすれば、渦電流の浸透深さは小さくなる)ため、検査周波数を高くすればするほど良いということではなく、検出対象とする高硬度部の鋼管P表面からの深さも考慮して検査周波数を設定することが好ましい。また、検査周波数を過度に高周波に設定すると、渦電流の浸透深さが小さくなりすぎ、鋼管P表面の凹凸に過敏になってノイズ信号が大きくなったり、高硬度部の深さ情報が失われる等の不具合が生じるため、これらの点も考慮して検査周波数を設定することが好ましい。

[0038] 図4は、検査周波数を16kHz、32kHz、64kHzと変更した場合に得られる、局所的な高硬度部の硬度(ピッカース硬度)と、判定部27によって演算された高硬度部信号の振幅との関係の一例を示すグラフである。なお、図4の横軸の硬度は、鋼管Pの表面から深さ0.1mmでの硬度を意味する。また、図4に示すノイズレベルは、磁性変動信号又はリフトオフ信号の最大の振幅を意味する。図4に示すように、検査周波数を64kHzに設定することにより、検査周波数を16kHzに設定した場合に比べて渦電流が鋼管Pの表面近傍に集中するため、高硬度部信号の振幅が大きくなり、健全部位の硬度(約350Hv)よりも50Hv以上高い(従って、硬度が約400Hv以上の)高硬度部であれば、ノイズレベルよりも大きな高硬度部信号の振幅(すなわち、高硬度部のS/N比 $>1$ )を得ることができる。本実施形態では、前述のように、検査周波数を64kHzに設定しているため、ノイズレベルよりも大きな高硬度部信号の振幅を得ることができると共に、磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差を $135^\circ$ 以上にする(高硬度部信号の位相と、磁性変動信号の位相と、リフトオフ信号の位相とを確実に識

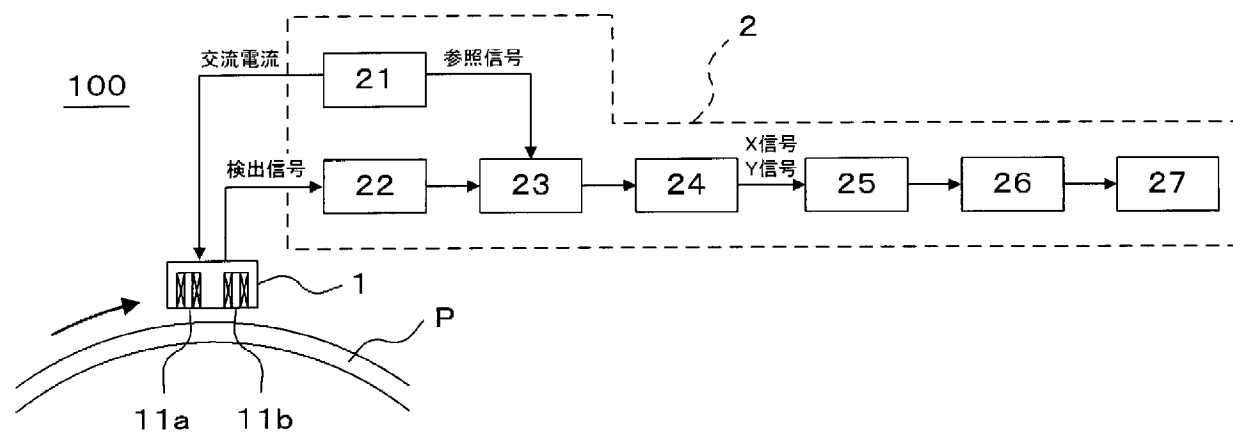
別可能)ことができる。従って、前述のように、判定部27が、演算した振幅Zが予め定められたしきい値(例えばノイズレベル)よりも大きいか否かを判定し、振幅Zが予め定められたしきい値よりも大きい場合には、演算した位相 $\theta$ が予め定めた範囲内(例えば、位相 $70^\circ$  から $135^\circ$  の間)にあるか否かを判定することにより、金属材料に局部的に存在する高硬度部を確実に検出可能である。

## 請求の範囲

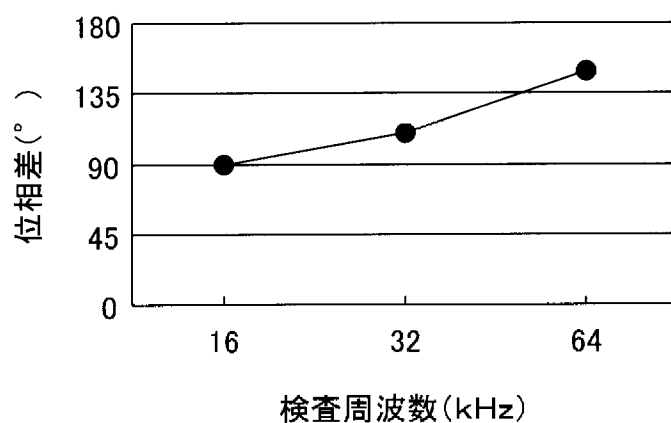
- [1] 磁性を有する金属材料に対向配置した差動型コイルを前記金属材料に対して相対移動させながら、前記差動型コイルに交流電流を通電して前記金属材料に交流磁界を作用させると共に、前記交流磁界によって前記金属材料に誘起された渦電流を前記差動型コイルで検出することにより、前記金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出する渦流検査方法であって、
- 前記差動型コイルによって検出した前記金属材料の磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^\circ$ 以上となるように、前記差動型コイルに通電する交流電流の周波数を設定し、前記差動型コイルから出力された検出信号の振幅及び位相に基づいて、前記金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出することを特徴とする渦流検査方法。
- [2] 前記局所的な高硬度部は、前記金属材料の他の部位よりもビッカース硬度で50HV以上高いことを特徴とする請求項1に記載の渦流検査方法。
- [3] 金属材料に存在する局所的な高硬度部を除去するための手入れ処理を施した後、請求項1又は2に係る渦流検査方法で前記金属材料を検査することにより前記高硬度部が除去されているか否かを確認することを特徴とする渦流検査方法。
- [4] 請求項1又は2に係る渦流検査方法で検出した金属材料に存在する局所的な高硬度部を除去するための手入れ処理を施した後、請求項1又は2に係る渦流検査方法で前記金属材料を再度検査することにより前記高硬度部が除去されているか否かを確認することを特徴とする渦流検査方法。
- [5] 請求項3又は4に記載の渦流検査方法によって、前記局所的な高硬度部が除去されていることを確認した鋼管。
- [6] 磁性を有する金属材料に対向配置され、前記金属材料に交流磁界を作用させて渦電流を誘起すると共に、前記金属材料に誘起された渦電流を検出する差動型コイルと、
- 前記差動型コイルに交流電流を通電すると共に、前記差動型コイルから出力された検出信号に基づいて、前記金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出する信号処理部とを備え、

前記信号処理部は、前記差動型コイルによって検出した前記金属材料の磁性変動信号とリフトオフ信号との位相差が $135^{\circ}$ 以上となるように、前記差動型コイルに通電する交流電流の周波数を設定すると共に、前記差動型コイルから出力された検出信号の振幅及び位相に基づいて、前記金属材料に存在する局所的な高硬度部を検出することを特徴とする渦流検査装置。

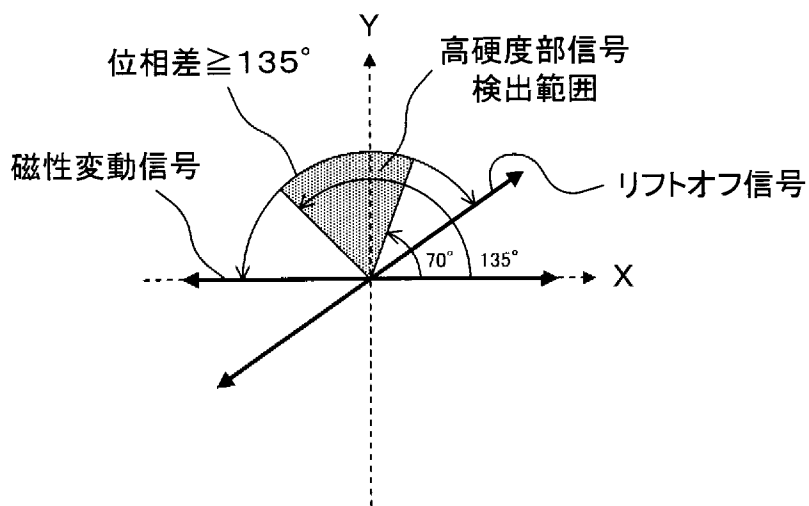
[図1]



[図2]

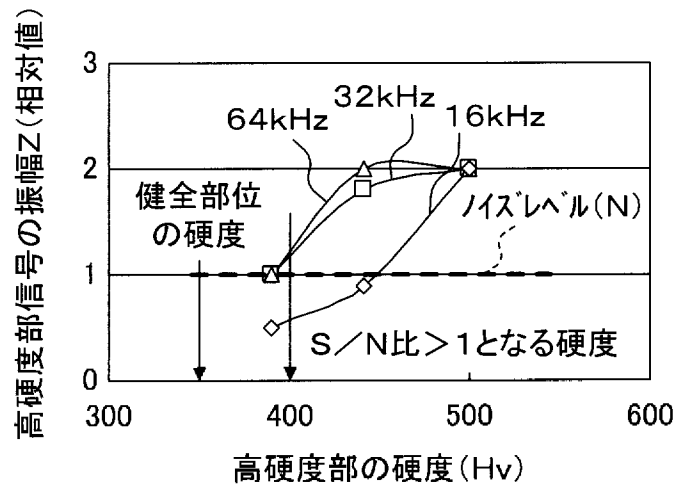


[図3]





[図4]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/054334

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N27/80 (2006.01) i

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

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N27/72-27/90

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2008

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008

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

JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 60-185158 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 20 September, 1985 (20.09.85), Full text; all drawings (Family: none)	5
X	JP 11-189844 A (The Kansai Electric Power Co., Inc.), 13 July, 1999 (13.07.99), Full text; all drawings (Family: none)	5
A	JP 50-26951 B1 (Nippon Steel Corp.), 04 September, 1975 (04.09.75), Full text; all drawings (Family: none)	1-6

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
04 June, 2008 (04.06.08)Date of mailing of the international search report  
17 June, 2008 (17.06.08)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2008/054334

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 62-174651 A (Suzuki Motor Co., Ltd.), 31 July, 1987 (31.07.87), Full text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 60-39552 A (Shimadzu Corp.), 01 March, 1985 (01.03.85), Full text; all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N27/80(2006.01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N27/72-27/90											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2008年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2008年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2008年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2008年	日本国実用新案登録公報	1996-2008年	日本国登録実用新案公報	1994-2008年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2008年										
日本国実用新案登録公報	1996-2008年										
日本国登録実用新案公報	1994-2008年										
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus(JDreamII), JST7580(JDreamII)											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号									
X	JP 60-185158 A (住友金属工業株式会社) 1985.09.20, 全文、全図 (ファミリーなし)	5									
X	JP 11-189844 A (関西電力株式会社) 1999.07.13, 全文、全図 (ファミリーなし)	5									
A	JP 50-26951 B1 (新日本製鐵株式会社) 1975.09.04, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。									
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 04.06.2008		国際調査報告の発送日 17.06.2008									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 田中 洋介	2W 3009								
		電話番号 03-3581-1101	内線 3292								

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 62-174651 A (鈴木自動車工業株式会社) 1987.07.31, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 60-39552 A (株式会社島津製作所) 1985.03.01, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6