

(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2006-64390

(P2006-64390A)

(43) 公開日 平成18年3月9日(2006.3.9)

(51) Int. Cl.

GO 1 N 27/82 (2006.01)

F I

GO 1 N 27/82

テーマコード(参考)

2GO53

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2004-243695 (P2004-243695)  
 (22) 出願日 平成16年8月24日(2004.8.24)

特許法第30条第1項適用申請有り 2004年3月26日、27日 日本AEM学会主催の「第13回MAGDAコンファレンス(仙台)講演」において文書をもって発表

(71) 出願人 000224754  
 核燃料サイクル開発機構  
 茨城県那珂郡東海村村松4番地49  
 (74) 代理人 100078961  
 弁理士 茂見 穰  
 (72) 発明者 ▲高▼屋 茂  
 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002 核燃料サイクル開発機構大洗工学センター内  
 Fターム(参考) 2G053 AA14 AB03 AB04 AB05 AB06  
 BA02 BB11 BB13 BB17 BB18  
 BC10 BC14 CB29 DA01 DB11  
 DB20

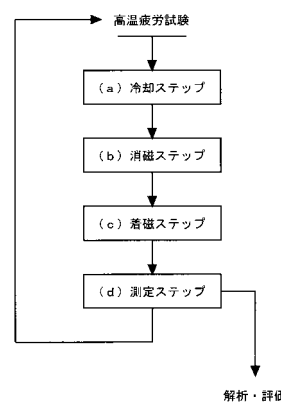
(54) 【発明の名称】 高温疲労損傷領域の非破壊検出方法

(57) 【要約】

【課題】 高温環境下における疲労によって、亀裂が発生する以前に、その疲労損傷集中領域を、予め劣化量と評価パラメータの相関関係についてのデータベースを作成することなく、非破壊で検出する。

【解決手段】 (a) 被検体(450 ~ 800 の高温環境下で疲労損傷を受けているオーステナイト系ステンレス鋼)を室温以下まで冷却するステップ、(b) 残留磁化を取り除く消磁ステップ、(c) 外部磁場を印加する着磁ステップ、(d) 磁気特性を測定するステップを具備し、(a) ~ (d)を異なる複数の時点で繰り返す。得られた測定結果から、磁気特性の時間的差分の分布を求めることにより、あるいは磁気特性が単調に変化し続ける領域を求めることにより、疲労損傷集中領域を特定する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

(a) 被検体である 450 ~ 800 の高温環境下で疲労損傷を受けているオーステナイト系ステンレス鋼を、室温以下で且つ疲労損傷を受けていない同一材料が温度のみでマルテンサイト変態を開始する温度よりも高い温度まで冷却する冷却ステップ、

(b) 交流磁場を印加して残留磁化を取り除く消磁ステップ、

(c) 外部磁場を印加する着磁ステップ、

(d) 磁気特性を測定する測定ステップ、

を具備し、上記 (a) ~ (d) までを異なる複数の時点で繰り返し、得られた測定結果から磁気特性の時間的差分の分布を求めることにより、疲労損傷集中領域を特定することを特徴とする高温疲労損傷領域の非破壊検出方法。

10

## 【請求項 2】

(a) 被検体である 450 ~ 800 の高温環境下で疲労損傷を受けているオーステナイト系ステンレス鋼を、室温以下で且つ疲労損傷を受けていない同一材料が温度のみでマルテンサイト変態を開始する温度よりも高い温度まで冷却する冷却ステップ、

(b) 交流磁場を印加して残留磁化を取り除く消磁ステップ、

(c) 外部磁場を印加する着磁ステップ、

(d) 磁気特性を測定する測定ステップ、

を具備し、上記 (a) ~ (d) までを異なる複数の時点で繰り返し、得られた測定結果から磁気特性が単調に変化し続ける領域を求めることにより、疲労損傷集中領域を特定することを特徴とする高温疲労損傷領域の非破壊検出方法。

20

## 【請求項 3】

測定する磁気特性が、残留磁束密度、飽和磁束密度、初期磁化率、保磁力、残留磁化、飽和磁化のいずれか 1 種以上である請求項 1 又は 2 記載の高温疲労損傷領域の非破壊検出方法。

## 【請求項 4】

被検体が、オーステナイト系ステンレス鋼の表面に非磁性の保護被膜を有するものである請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の高温疲労損傷領域の非破壊検出方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

30

## 【0001】

本発明は、オーステナイト系ステンレス鋼が、450 ~ 800 の高温環境下における疲労損傷によって亀裂を発生する前に、その疲労損傷集中領域を非破壊・非接触で検出する方法に関するものである。更に詳しく述べると本発明は、疲労損傷の進行に伴う磁気特性の経時的変化を利用することにより、予め劣化量と評価パラメータの相関関係についてのデータベースを作成しなくても、高温疲労損傷領域を非破壊で検出できる方法に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

高速増殖炉をはじめとする多くのプラントで、経済性の向上を目的として設備の長寿命化が検討されている。しかし、安全性との両立を図るためには、構造材料の劣化損傷の程度を亀裂発生の前段階において精度よく評価できる診断手法の開発が求められている。特に、原子力プラントなどでは、高温での疲労損傷の適切な評価が重要である。

40

## 【0003】

従来、材料の非破壊検査手法としては、X線や超音波を利用した様々な探傷法が開発されているが、それらはいずれも既に発生した亀裂の位置や寸法を推定する方法であり、亀裂発生以後の劣化診断を対象としている。

## 【0004】

それに対して、磁気的手法によるオーステナイト系ステンレス鋼の亀裂発生前疲労損傷度の評価手法が、これまでにいくつか提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。しか

50

し、それらの多くは、室温環境下における加工誘起マルテンサイト変態による磁気特性変化を利用したもので、450 ~ 800 程度の高温環境下での疲労損傷は対象としていない。他方、被検体をキュリー点以下に維持した状態で磁気特性を測定することにより、クリープ劣化状態及び高温環境疲労による損傷度を評価する方法も提案されているが（特許文献2参照）、オーステナイト系ステンレス鋼の場合、冷却によってもマルテンサイト変態が生じるため、過度の冷却を必要とするこの方法も、高温疲労損傷領域の非破壊検出には適用することが出来ない。このように従来技術においては、450 ~ 800 程度の高温環境下における疲労によって、亀裂が発生する以前に、その疲労損傷集中領域を非破壊・非接触で検出することは困難であった。

【0005】

更に、上記従来手法は劣化評価を行うためには、予め同材料、同条件で試験を行うことにより、劣化量と磁気特性の相関関係をデータベースとして作成する必要がある。しかしながら、実プラントでは、温度、応力等の異なる様々な環境が存在し、その全ての場合について、データベースを作成することは現実的に不可能である。そこで、データベースなしで疲労損傷集中部を特定可能な手法の開発が強く望まれている。

【特許文献1】特開平6-308092号公報

【特許文献2】特開2001-141700号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明が解決しようとする課題は、450 ~ 800 程度の高温環境下における疲労によって、亀裂が発生する以前に、その疲労損傷集中領域を非破壊で検出できるようにする点、疲労損傷領域を、予め劣化量と評価パラメータの相関関係についてのデータベースを作成することなく、非破壊で検出できるようにする点、である。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、

(a) 被検体である450 ~ 800 の高温環境下で疲労損傷を受けているオーステナイト系ステンレス鋼を、室温以下で且つ疲労損傷を受けていない同一材料が温度のみでマルテンサイト変態を開始する温度よりも高い温度まで冷却する冷却ステップ、  
 (b) 交流磁場を印加して残留磁化を取り除く消磁ステップ、  
 (c) 外部磁場を印加する着磁ステップ、  
 (d) 磁気特性を測定する測定ステップ、  
 を具備し、上記(a) ~ (d)までを異なる複数の時点で繰り返し、得られた測定結果から磁気特性の時間的差分の分布を求めることにより、疲労損傷集中領域を特定することを特徴とする高温疲労損傷領域の非破壊検出方法である。

【0008】

また本発明は、

(a) 被検体である450 ~ 800 の高温環境下で疲労損傷を受けているオーステナイト系ステンレス鋼を、室温以下で且つ疲労損傷を受けていない同一材料が温度のみでマルテンサイト変態を開始する温度よりも高い温度まで冷却する冷却ステップ、  
 (b) 交流磁場を印加して残留磁化を取り除く消磁ステップ、  
 (c) 外部磁場を印加する着磁ステップ、  
 (d) 磁気特性を測定する測定ステップ、  
 を具備し、上記(a) ~ (d)までを異なる複数の時点で繰り返し、得られた測定結果から磁気特性が単調に変化し続ける領域を求めることにより、疲労損傷集中領域を特定することを特徴とする高温疲労損傷領域の非破壊検出方法である。

【0009】

これらの方法において、測定する磁気特性は、残留磁束密度、飽和磁束密度、初期磁化率、保磁力、残留磁化、飽和磁化のいずれかでよい。また、非接触で磁気特性を測定でき

10

20

30

40

50

れば、被検体は、オーステナイト系ステンレス鋼の表面に非磁性の保護被膜を有するものであってもよい。

【発明の効果】

【0010】

本発明の高温疲労損傷領域の非破壊検出方法は、オーステナイト系ステンレス鋼の高温環境下での疲労損傷について、室温以下まで冷却し、磁気特性の経時的変化を測定する方法であるから、これによって、亀裂発生前における疲労損傷集中領域を非破壊で特定することが可能になる。本発明方法は、予め劣化量と評価パラメータの相関関係についてのデータベースを作成する必要がないから、実プラントで、温度、応力等の異なる様々な環境下であっても、簡便に疲労損傷集中部を特定することができる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

本発明は、450 ~ 800 程度の高温環境下で使用されるオーステナイト系ステンレス鋼に関して、被検体を室温以下まで冷却することにより、疲労損傷集中領域において磁気特性が変化することを利用して、高温環境下において導入された疲労損傷集中領域を特定する方法である。

【0012】

オーステナイト系ステンレス鋼は、450 ~ 800 程度の高温環境下で疲労損傷を与えても、加工によってマルテンサイト変態が起こる温度以上であるために、室温環境下における疲労のように、直ちに加工誘起マルテンサイト変態が生じることは無い。しかしながら、高温環境下であっても、疲労損傷集中領域にはマルテンサイト変態の起点が導入されているため、室温以下まで冷却することで、マルテンサイト変態が起こり、疲労損傷集中領域において磁気特性が変化することを利用して高温疲労損傷領域を非破壊で検出する方法なのである。

20

【0013】

図1に本発明方法の典型的な処理フローの概略を示す。被検体は、450 ~ 800 の高温環境下で振動試験などにより疲労損傷を受けているオーステナイト系ステンレス鋼である。この方法は、

(a) 冷却ステップでは、高温の被検体を、室温まで冷却する。

(b) 消磁ステップでは、磁場履歴を取り除くために、交流磁場を印加し、徐々にその磁場を小さくすることで、被検体の残留磁化を消失させる。

30

(c) 着磁ステップでは、ソレノイド型電磁石等を用いて外部磁場を印加することにより着磁する。

(d) 測定ステップでは、例えば残留磁束密度などの磁気特性を測定する。

これら(a)~(d)のステップ後、昇温して450 ~ 800 の高温環境下に戻し、疲労試験(例えば振動試験)を行う。そして、上記(a)~(d)までを繰り返す。このようにして、異なる複数の時点で得られた測定結果を解析して評価する。解析は、磁気特性の時間的差分の分布を求めること、あるいは磁気特性が単調に変化し続ける領域を求めることにより、疲労損傷集中領域を特定することなく、疲労損傷集中領域を特定することが可能となる。なお、上記(d)の測定ステップの後、(e)として(b)と同様の消磁ステップを入れ、消磁処理した被検体を昇温して疲労試験を行うように構成してもよい。

40

【実施例】

【0014】

本発明の一実施例として、代表的な高温構造材料の一つであるSUS304鋼からなる被検体を用い、これに対して大気中650 の環境下でひずみ制御両振り疲労試験を実施した。試験開始から10万サイクルまでは1万サイクル毎に疲労試験を中断し、磁束密度分布の測定を行った。

【0015】

使用した被検体の形状を図2に示す。Aは正面を表し、Bは平面を表している。被検体

50

10は、両端に試験機に装着するための掴み部10aが形成されており、中間の平滑平板状の部分が試験片10bとなっている。試験片10bの寸法は、長さ40mm、幅20mm、厚さ5mmである。そして、試験片10bの中心を原点として、長手方向にx軸、幅方向にy軸をとり、座標(x, y)によって疲労損傷集中領域の位置を特定する。

#### 【0016】

ここで実施した疲労試験は、被検体10の長手方向に引っ張りと圧縮を多数回数繰り返す両振り方式であり、歪み範囲0.4%、歪み速度0.1%/秒で歪み制御の下で実施した。試験終了条件は、応力範囲が定常値の25%に低下することであり、試験終了時にかけるサイクル数は約14万サイクルであった。

#### 【0017】

本実施例で使用した測定装置の概略を図3に示す。測定装置は、被検体10の上方に位置する磁気センサ12(ここで使用したのは薄膜型のフラックスゲートセンサ、センサ寸法: ~2x2mm)、該磁気センサ12を被検体10上で相対的に走査させるための駆動装置14(ここでは被検体10を移動させている)、及び環境静磁場の影響を低減するためのFe-Ni合金(商品名: パーマロイ)製の磁気シールド16などを備え、磁気センサ12からの磁気データと駆動装置14からの位置データが共に信号処理系18に送られ、測定・解析・保存されるように構成している。

#### 【0018】

高温疲労試験を施した被検体10を、まず消磁し、その後、ソレノイド型電磁石が作る0.1Tの磁場により被検体10を長手方向に着磁し、その後、残留磁束密度の長手方向成分の測定を行った。磁気センサ12から被検体10の表面までの距離は0.5mmとした。また磁束密度分布測定後は、再度、被検体10の消磁を行い、その後、高温疲労試験を再開した。

#### 【0019】

被検体表面と平行な局所磁化が存在する場合の磁力線分布を図4に示す。本実施例のように被検体の長手方向に着磁し、磁束密度の長手方向成分を測定する場合、局所磁化が存在する領域の直上で、磁力線が着磁方向とは逆向きになることが分かる。従って、疲労損傷集中領域を検出するためには、着磁方向を正とした場合、負へと磁束密度が変化していく領域を検出すればよいことになる。また、疲労損傷は蓄積されるため、磁気特性は単調に変化することにも留意すべきである。このことから、磁束密度が負へと変化し続ける領域に注目することで、疲労損傷集中領域を特定できる。

#### 【0020】

図5は、10万サイクルまで高温疲労試験を行った時点での磁束密度分布を白黒の濃淡で示している。白い領域が、磁束密度が減少し続けた領域を示している。因みに10万サイクル終了時点では、長さが100μm以上あるような亀裂の存在は、光学顕微鏡では確認されていない。図6に、更に高温疲労試験を行った後の亀裂発生箇所を示すが(x印: x ~ -8mm)、この亀裂発生箇所と磁束密度が減少し続ける領域(図5の白い領域)とは良く一致している。このことから、磁束密度が減少し続ける領域に着目することで疲労損傷領域を亀裂発生前に特定できることが分かる。

#### 【0021】

更に、図7に9万サイクル経過時の磁束密度測定結果から10万サイクル経過時の磁束密度測定結果を引いた磁束密度の時間的差分の分布を示す。ここでも差分の大きさの分布を白黒の濃淡で示している。ここで注目しているのは磁束密度の負への変化であることから、図7の濃淡は差分した磁束密度の正の値のみで変化させている。図7において、唯一ピークをとる箇所(白い領域)も亀裂発生箇所(図6に示す)とほぼ一致しており、このように磁束密度分布の時間的差分の分布を取ることによっても、亀裂発生以前に疲労損傷集中部を特定できることが分かる。

#### 【0022】

本実施例で使用した磁気センサ(寸法: ~2x2mm口)よりもセンサ寸法をさらに小さくすることで、空間的な検出性能はより一層向上する。また本実施例では、亀裂発生以

10

20

30

40

50

前の疲労損傷集中領域の特定を対象としているが、本発明方法を用いると、亀裂発生以後においても疲労損傷集中領域の特定が可能であることは言うまでもない。なお、本発明方法では、非接触での測定が可能であるため、被検体が表面に非磁性体の保護被膜を有する場合であっても、適用可能である。

#### 【0023】

図8に、本発明方法を実プラントへ適用する場合の装置構成の一例を示す。図8のAは被検体20の消磁および着磁時の状態を示している。この状態では、前記実施例と同様、被検体20を平面内一方向に磁化するために、磁束密度等の磁気特性測定領域内で一般的な外部磁場を印加可能な形状および大きさの強磁性体製の磁気ヨーク30を用いる。磁気ヨーク30にはコイル32が巻装されており、このコイル32に、最初は振幅を大きく、その後徐々に小さく変化させながら交流電流を流すことにより、被検体20の消磁を行う。この工程を磁気測定前に実施することにより、環境磁場の履歴に依らない評価が可能になる。消磁後、コイル32に直流電流を流すことにより、被検体20を面内一方向に着磁する。

10

#### 【0024】

図8のBは磁気特性測定時の状態を示している。磁気特性測定領域における磁気ヨークが作る磁場の影響を小さくするため、磁気ヨーク30を被検体20から垂直方向に遠ざける。また磁気ヨーク30及び磁気特性測定領域よりも十分広い磁気シールド板26を磁気ヨーク30と磁気センサ22の間に配置することで、磁気ヨーク30の作る磁場の影響を小さくできる。このような状態で磁気センサ22を、駆動装置24を用いて被検体表面に沿って走査させることにより、磁気特性を測定し、その分布を得る。得られた磁気特性の経時変化から、先に説明したようにして高温環境下における疲労劣化損傷集中領域の特定を行う。

20

#### 【0025】

測定後、再度、図8のAに示す状態に戻し、測定前と同様、コイル32に交流電流を流すことにより、被検体20の消磁を行うこともできる。また測定装置全体を被検体に対して駆動することにより、より広い領域での疲労劣化損傷集中領域の特定が可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0026】

- 【図1】本発明方法の典型的な処理フロー。
- 【図2】使用した被検体の形状を示す説明図。
- 【図3】実施例で使用した測定装置の概略図。
- 【図4】被検体表面と平行な局所磁化が存在する場合の磁力線分布の説明図。
- 【図5】10万サイクルまで磁束密度が減少し続けた領域を示す説明図。
- 【図6】亀裂発生箇所の説明図。
- 【図7】9万サイクル経過時の測定結果から10万サイクル経過時の測定結果を引いた磁束密度の時間的差分の分布を示す説明図。
- 【図8】本発明方法を実プラントへ適用する場合の装置構成の一例を示す説明図。

30

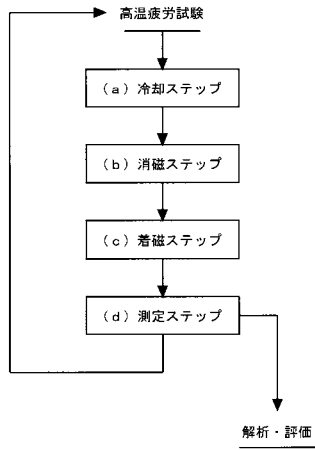
#### 【符号の説明】

#### 【0027】

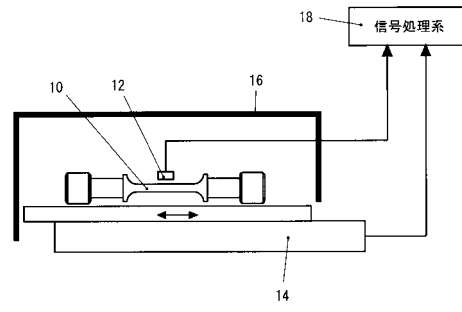
- 10 被検体
- 12 磁気センサ
- 14 駆動装置
- 16 磁気シールド
- 18 信号処理系

40

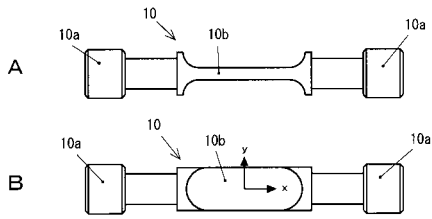
【 図 1 】



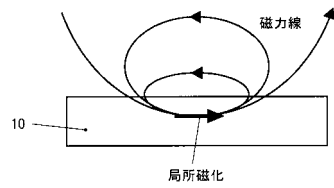
【 図 3 】



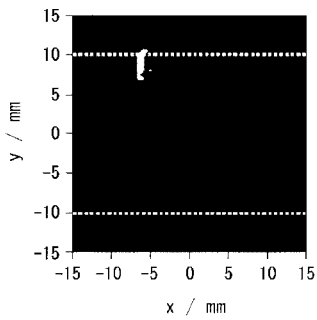
【 図 2 】



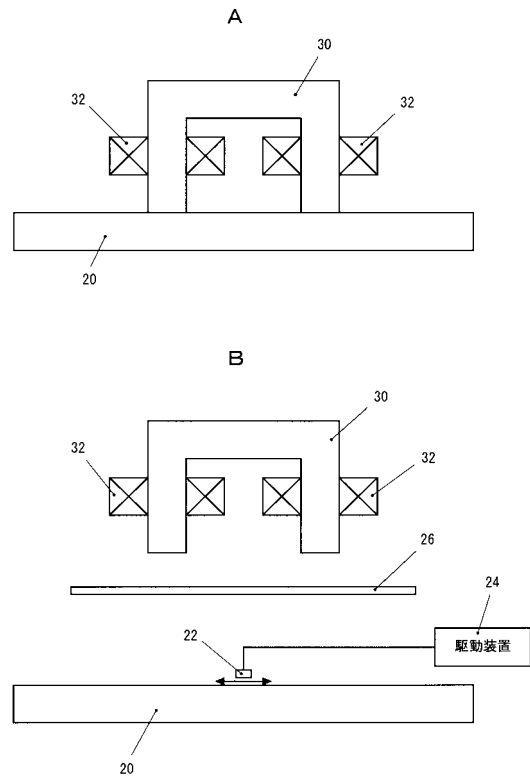
【 図 4 】



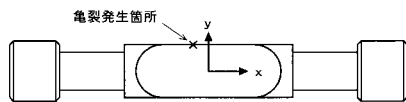
【 図 5 】



【 図 8 】



【 図 6 】



【 図 7 】

