

(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2005-257589

(P2005-257589A)

(43) 公開日 平成17年9月22日(2005.9.22)

|                            |               |             |
|----------------------------|---------------|-------------|
| (51) Int. Cl. <sup>7</sup> | F I           | テーマコード (参考) |
| GO 1 N 27/72               | GO 1 N 27/72  | 2 GO 1 7    |
| GO 1 R 33/12               | GO 1 R 33/12  | 2 GO 5 3    |
| G 2 1 C 17/003             | G 2 1 C 17/00 | 2 GO 7 5    |
| // G 2 1 D 1/00            | G 2 1 D 1/00  | X           |

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

|           |                            |          |                    |
|-----------|----------------------------|----------|--------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2004-72141 (P2004-72141) | (71) 出願人 | 000004097          |
| (22) 出願日  | 平成16年3月15日 (2004.3.15)     |          | 日本原子力研究所           |
|           |                            |          | 千葉県柏市末広町 1 4 番 1 号 |
|           |                            | (74) 代理人 | 100089705          |
|           |                            |          | 弁理士 社本 一夫          |
|           |                            | (74) 代理人 | 100076691          |
|           |                            |          | 弁理士 増井 忠次          |
|           |                            | (74) 代理人 | 100075270          |
|           |                            |          | 弁理士 小林 泰           |
|           |                            | (74) 代理人 | 100080137          |
|           |                            |          | 弁理士 千葉 昭男          |
|           |                            | (74) 代理人 | 100096013          |
|           |                            |          | 弁理士 富田 博行          |
|           |                            | (74) 代理人 | 100092015          |
|           |                            |          | 弁理士 桜井 周矩          |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 原子炉用ステンレス鋼の健全性評価方法

(57) 【要約】

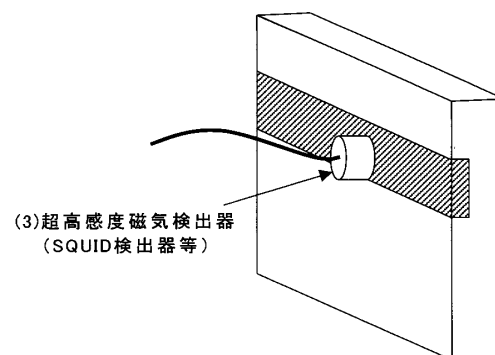
【課題】

原子炉用ステンレス鋼をはじめとする一般のステンレス鋼の表面に対して研削あるいは研磨等の機械加工を施すと、加工に誘起されて母相とは別の相が発生する等の微細な金属組織の変化が起こり、材料が劣化することが知られている。このような金属材料の表層の内部に生じる劣化は、従来の欠陥検出法として利用されている渦流探傷法、超音波探傷法、放射線透過探傷法等で検出することはできない。

【解決手段】

装置あるいは金属材料の表面に対し、超高感度磁気検出素子を備えた検出器を有する非破壊検出装置を用いて磁気分布を測定することにより、その表面における硬化層等の劣化部位を、それが有する磁気力と装置あるいは金属材料母相の磁気力との相違に基づき検出する。

【選択図】 図 2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

原子炉用ステンレス鋼の応力腐食割れに対する健全性評価のため、ステンレス鋼表面に存在する、研削あるいは研磨等の機械加工に起因して生じる硬化層等の劣化部位、溶接部の残留歪みによる劣化部位、又は経年による劣化部位の微細な金属組織の変化を非破壊検出する方法であって、超高感度磁気検出素子を使用した検出器を用いて磁氣的に検出する非破壊検出方法。

## 【請求項 2】

装置あるいは金属材料の表面に対し、超高感度磁気検出素子検出器を有する非破壊検出装置を用いて磁気分布を測定することにより、研削あるいは研磨等の機械加工に起因して生じる金属材料の表面における硬化層等の劣化部位、溶接部の残留歪みによる劣化部位、又は経年による劣化部位を、それが有する磁気力と金属材料母相の磁気力との相違に基づき検出する請求項 1 記載の方法。

10

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、原子炉用ステンレス鋼の応力腐食割れ（S C C : Stress Corrosion Cracking）に対する健全性を評価するため、S C C 発生原因の一つである原子炉用ステンレス鋼表面の機械加工に伴う硬化層やその他の金属組織の劣化部位を、微細な金属組織中のすべり線や転位の増加あるいは加工に誘起されて発生する磁性相の存在などの磁気特性変化の発現に基づき、超伝導量子干渉素子（S Q U I D : Superconducting Quantum Interference Device）等の超高感度磁気検出素子を用いて非破壊検出方法に関するものである。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

原子炉用ステンレス鋼をはじめとする一般のステンレス鋼の表面に対して研削あるいは研磨等の機械加工を施すと、加工面の表層部において硬化層が生じ、その層中には、すべり線や転位の増加、あるいは加工に誘起されて母相とは別の相が発生する等の微細な金属組織の変化が起こり、材料が劣化することが知られている（非特許文献 1）。また、溶接部においても同様に、溶接熱影響や残留ひずみにより微細な組織変化が起こり、材料が劣化する。このような金属材料の表層の内部に生じる劣化は、き裂に代表される材料欠陥を生じていないが、S C C の発生あるいは欠陥に発展する可能性を有する材質変化が生じた状態である（非特許文献 2 及び 3）。このような微細な劣化は、従来欠陥検出法として利用されている渦流探傷法、超音波探傷法、放射線透過探傷法等で検出することはできない。

40

## 【0003】

このような微細な劣化に対して、従来は、微小硬さ測定、あるいはエッチングによって現出した微細な金属組織の顕微鏡観察によって、その存在を確認する方法が一般的である。しかし、これらの方法は、材料が使用されている装置から試験部位を切り出して試験を行う方法であり、破壊検出方法である。

【非特許文献 1】ステンレス協会編、「ステンレス鋼便覧（第 3 版）」、日刊工業新聞社

50

、1995年1月24日発行、pp. 166～167及びp. 1108

【非特許文献2】原子力安全・保安院作成、「原子力発電設備の健全性評価について－中間とりまとめ」、総合資源エネルギー調査会、原子力安全・保安部会発行、平成15年3月10日、p. 1, pp. 14～20

【非特許文献3】原子力安全・保安院作成、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所4号機、福島第二原子力発電所3号機、同4号機、柏崎刈羽原子力発電所1号機及び同2号機の炉心シュラウドのひび割れについて」、総合資源エネルギー調査会、原子力安全・保安部会発行、平成15年3月10日、pp. 25～31

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0004】

原子炉用ステンレス鋼の表面の機械加工に伴う劣化等の微細な金属組織の変化によって、磁気特性の変化を生じている場合、磁気的方法を適用することで非破壊検出できる。実際、ステンレス鋼SUS304は、通常、常磁性であるオーステナイト相が母相であるが、機械加工に伴って生じる加工層中に強磁性を示すマルテンサイト相が存在することが知られており、これは母相に対して磁気特性が顕著に相違するものであって、磁気的検出方法によって容易にこの組織変化が検出できる。

また、原子炉用ステンレス鋼には、機器・構造物を組み立てる際の溶接施工に伴って、溶接熱影響による金属組織の変化や溶接部に残留歪みが生じている。この部位は、原子炉の運転による経年により劣化しやすい。このような劣化部位は、微細な金属組織の変化を伴うものであり、母相に対して磁気特性が相違することから、磁気的検出方法によってこの組織変化が検出できる。

20

さらに、機械加工や溶接が施工されていない材料でも、特に応力が集中する部位では、原子炉の運転による経年により金属組織変化が生じ、劣化しやすい。このような劣化部位も、同様に磁気的検出方法によってこの組織変化が検出できる。

【0005】

他のステンレス鋼についても、同様に、機械加工の結果、すべり線や転位の増加あるいは母相とは磁気特性の異なる別な相が生じる等の微細な組織変化が起こって劣化し、SQUID等のように高感度の磁気検出センサを用いることにより、これらの劣化を非破壊検出することができる。

30

【0006】

SQUID等は、高感度の磁気検出方法で、非破壊検出にも適用される代表的な方法である。よって、SQUID等を用いて、原子炉用ステンレス鋼の微細な金属組織変化に伴う劣化を非破壊検出することが可能である。

【0007】

本発明は、以上の通りの事情に鑑みてなされたものであり、軽水冷却型原子炉に用いられるステンレス鋼製構造物のSCCの防止や予防保全及び健全性評価の観点から、原子炉用ステンレス鋼の機械加工に伴う劣化等を非破壊検出する方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

40

【0008】

本発明は、上記の課題を解決するものとして、ステンレス鋼の表面に対して研削あるいは研磨等の機械加工を施した際に、加工面の表層部において生じる硬度の増加やすべり線や転位の増加、あるいは加工に誘起されて母相とは別の相が発生する等の微細な金属組織の変化を、非破壊的に検出する方法であって、超高感度磁気検出素子を用いて電磁氣的に検出する非破壊検出方法を提供するものである。

【0009】

又、最近、軽水炉の炉内構造物（炉心シュラウドや配管）に見つかったき裂は溶接部に近傍に発生しているが、本発明は、このような溶接部の残留歪みによる劣化部位又は経年による劣化部位の検出にも適用される。

50

## 【0010】

本発明で使用される超高感度磁気検出素子としては、SQUID磁気センサ、フラックスゲート磁気センサ（FGセンサ）、磁性薄膜磁気抵抗素子（MRセンサ）、磁気インピーダンス素子、ホール素子等が使用される。これらの検出感度は、図3に示されるように、SQUIDが最も感度が高く（ $10^{-14} \sim 10^{-10}$  T（T：テスラ））、次にFGセンサ、MRセンサ、ホール素子の順になっている。

## 【発明の効果】

## 【0011】

軽水炉の炉心シュラウドや配管等のステンレス鋼製構造物等に対して、表面の機械加工によって生じる加工硬化層等の劣化は、材料の硬化や微細な組織変化の影響により、SCCの発生を招くとされており、実際に経験された事例が多数報告されている。 10

## 【0012】

本発明は、非破壊検出により劣化部位を特定することにより、SCCが発生する可能性がある部位を特に注意して検査したり、軽水炉運転上の特別な配慮を施すことによって、SCCの発生を未然に防止し、あるいは応力腐食割れの初期段階で検出して、早期の安全対策の施策や、軽水炉の健全性確保に貢献する。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0013】

装置あるいは金属材料の表面に対し、超高感度磁気検出素子検出器を有する非破壊検出装置を用いて磁気分布を測定することにより、硬化層等の劣化部位が有する磁気力を、母相の磁気力との相違に基づき検出する。 20

## 【0014】

本発明を図1及び図2に基づいて説明すると、1は装置等の金属材料の一部を示し、2はその表面の劣化部位であって、例として機械加工に伴う加工硬化層の存在する部位を示す。3は超高感度磁気検出素子検出器を用いて劣化部位を非破壊検出している状況を示す。

## 【0015】

本発明で超高感度磁気検出素子を用いた検出器として使用されるSQUID検出器は、図4に示されるように、SQUID磁気センサコイル、液化ヘリウム、デュワー及び検出信号導線から構成され、SQUID磁気センサコイルは超伝導状態に維持するために液化ヘリウムで冷却され、保温のためデュワーに収められ、SQUID磁気センサコイル部は検出対象材料の表面部に沿って走査される。検出対象材料の磁気分布によりSQUID磁気センサコイルに発生した微弱な電圧変化は検出信号線を通じて検出される。得られた電圧変化は磁気変化に換算され、SQUID検出器の位置情報とともに処理することにより、磁気分布が得られる。なお、SQUID磁気センサコイルに高温超伝導材料を用いれば、液化ヘリウムの代わりに液化窒素を用いることができる。 30

## 【実施例】

## 【0016】

図1は、軽水炉の炉心シュラウドや配管等の装置に使用される原子炉用ステンレス鋼において、その表面に存在する劣化部位を例として示した概念図である。劣化部位は、切削や研磨等の機械加工の施工によって生じる加工硬化層を示しており、その深さは表面から深さ500μm程度の範囲の極表層に存在する。このような機械加工は、主として容器や配管等の真円度を改善するためや表面を平滑にするため等に施工される。 40

## 【0017】

図1では、機械加工が帯状に施工された金属材料の例を示している。加工硬化層では、母相に比べて硬度の増加やすべり線や転位の増加、あるいは加工に誘起されて母相とは別の相が発生する等の微細な金属組織の変化が生じている。

## 【0018】

図2は、上記の加工硬化層を検出するために、超高感度磁気検出素子を用いた検出器の一例としてSQUID検出器を用いて表面の磁気力を測定する方法の概念を示す。SQU 50

I D 検出器は、液化ヘリウムあるいは液化窒素の温度に冷却された検出コイルを有し、被検出物の磁気力を高感度に検出できる。S Q U I D 検出器を用いて、被検出物の表面を走査して測定することにより、母相とは異なる磁気力を有する加工硬化層を、測定領域において磁気分布の変化として捕らえることができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】装置等の金属材料表面において機械加工に伴う加工硬化層等の劣化部位が存在する状況を示す図である。

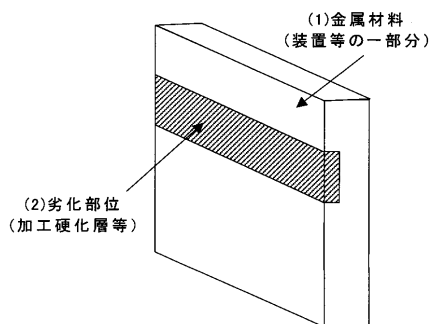
【図2】劣化部位を超高感度磁気検出素子を備えた検出器を用いて非破壊検出している状況を示す図である。

【図3】各種超高感度磁気検出素子センサの測定レンジを示す図である。

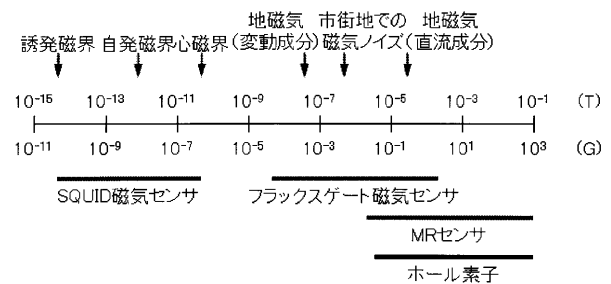
【図4】S Q U I D 検出器の構造を示す図である。

10

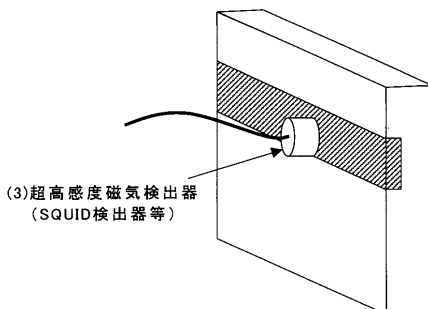
【図1】



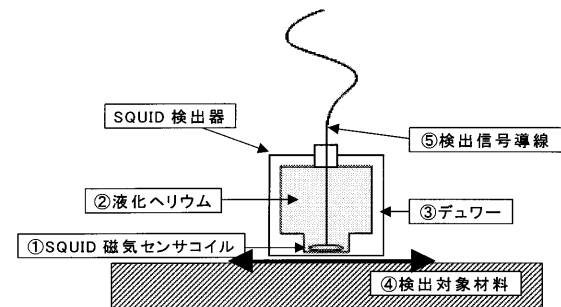
【図3】



【図2】



【図4】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 上野 文義  
茨城県那珂郡東海村白方字白根2番地の4 日本原子力研究所 東海研究所内
- (72)発明者 塚田 隆  
茨城県那珂郡東海村白方字白根2番地の4 日本原子力研究所 東海研究所内
- (72)発明者 根本 義之  
茨城県那珂郡東海村白方字白根2番地の4 日本原子力研究所 東海研究所内
- Fターム(参考) 2G017 AA08 AD32 CA01 CB16  
2G053 AA09 AA14 AA17 AB01 BA02 BA21 BA26 CA05 CA06 CA10  
DA01 DB19  
2G075 CA07 DA15 FA11 GA02