

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3649223号  
(P3649223)

(45) 発行日 平成17年5月18日(2005.5.18)

(24) 登録日 平成17年2月25日(2005.2.25)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

C 2 1 D 9/08

C 2 1 D 9/08

D

C 2 1 D 1/42

C 2 1 D 1/42

E

C 2 1 D 9/50

C 2 1 D 9/50

1 O 1 A

請求項の数 18 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2003-1696 (P2003-1696)  
 (22) 出願日 平成15年1月8日(2003.1.8)  
 (65) 公開番号 特開2004-211187 (P2004-211187A)  
 (43) 公開日 平成16年7月29日(2004.7.29)  
 審査請求日 平成16年8月16日(2004.8.16)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 (74) 代理人 100075096  
 弁理士 作田 康夫  
 (72) 発明者 柳田 信義  
 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社  
 日立製作所 機械研究所内  
 (72) 発明者 齋藤 昇  
 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社  
 日立製作所 機械研究所内  
 (72) 発明者 齋藤 英世  
 茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会  
 社 日立製作所 原子力事業部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 配管系の熱処理方法および熱処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

配管を有する配管系を組立てた後に前記配管の内部に冷却流体を流し、その後加熱コイルを有する高周波加熱装置を用いて配管を加熱して配管の内面と配管の外面との間に温度差を発生させる熱処理方法において、

前記配管の軸方向に延びたスペーサを、配管の周方向に複数個分散して配置し、前記配管の軸方向で2分割された加熱コイルをそれぞれ前記複数個のスペーサを挟んで接続して通電の経路を形成し、

前記配管表面と加熱コイルとの距離を前記スペーサにより保って、前記配管の内面と前記配管の外面との間に温度差を発生させ、前記内面を引張降伏させ、前記外面を圧縮降伏させることを特徴とする熱処理方法。

【請求項2】

前記冷却流体が純水であることを特徴とする請求項1に記載の配管系の熱処理方法。

【請求項3】

前記配管系は原子炉配管であり、前記冷却流体は原子炉で供給可能な原子炉水であることを特徴とする請求項1に記載の配管系の熱処理方法。

【請求項4】

配管の外表面から加熱コイルの内表面までの距離を、加熱コイルの長手方向に変化させたことを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の配管系の熱処理方法。

。

10

20

## 【請求項 5】

加熱コイルの中心を配管の中心から偏心させることにより、加熱コイルと配管外表面間距離を周方向に変化させたことを特徴とする請求項 4 に記載の配管系の熱処理方法。

## 【請求項 6】

配管と加熱コイル間の隙間を周方向にほぼ一定にし、この形成された隙間内の空気の流動を防止したことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか 1 項に記載の配管系の熱処理方法。

## 【請求項 7】

前記加熱コイルの巻き数は少なくとも 2 巻きを超えており、この巻き間隔を変化させたことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか 1 項に記載の配管系の熱処理方法。

10

## 【請求項 8】

前記加熱コイルを少なくとも 2 個備え、各加熱コイル毎に電流を制御可能としたことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか 1 項に記載の配管系の熱処理方法。

## 【請求項 9】

前記加熱コイルに供給する高周波電流の周波数を、時間とともに変化させることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 8 のいずれか 1 項に記載の配管系の熱処理方法。

## 【請求項 10】

前記加熱コイルが加熱する配管表面の温度を測定し、この測定した温度に基づいて加熱コイルに供給する電流を制御することを特徴とする請求項 8 に記載の配管系の熱処理方法。

20

## 【請求項 11】

前記加熱コイルが加熱する配管表面の電流または電圧の少なくともいずれかを検出し、この検出値に基づいて加熱コイルに供給する電流を制御することを特徴とする請求項 8 に記載の配管系の熱処理方法。

## 【請求項 12】

加熱するコイルを設置する前に配管系内面の欠陥の有無を非破壊検査で確認し、欠陥が検出された場合は加熱コイルを用いて欠陥が検出されない場合とは異なる加熱を欠陥近傍に施すことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 11 のいずれか 1 項に記載の配管の熱処理方法。

## 【請求項 13】

30

配管の外表面を全周にわたり冷却する冷却部の軸方向前後方向に加熱部を形成し、この加熱部を加熱コイルにより配管の全周にわたり加熱することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 12 のいずれか 1 項に記載の配管の熱処理方法。

## 【請求項 14】

配管外表面を全周にわたり加熱コイルにより加熱する加熱部の軸方向前後方向に配管の全周にわたり冷却する冷却部を形成したことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 13 のいずれか 1 項に記載の配管の熱処理方法。

## 【請求項 15】

配管系の外表面側に配置され、前記配管系の軸方向で 2 分割された高周波誘導加熱用の加熱コイルと、

40

前記配管系の軸方向に延びたスペーサを配管の周方向に複数個分散させ、前記分割された加熱コイル毎に配置させるスペーサ周方向取付治具と、

前記加熱コイルに取り付けられ内部を冷却水が循環する冷却水配管と、

接続された前記高周波誘導加熱用の加熱コイルに高周波電流を供給する手段と、

前記加熱コイルが加熱した配管系の外表面の温度を検出する温度測定装置と、

この温度測定装置が検出した温度に基づいて前記加熱コイルを制御する制御装置とを備え、

前記スペーサを介して前記配管系の表面と加熱コイルとの距離を保って、前記加熱コイルにより配管系を加熱して配管系の内面に圧縮残留応力を発生させることを特徴とする配管系の熱処理装置。

50

**【請求項 16】**

前記加熱コイルを少なくとも2組有し、各加熱コイルに独立に高周波電流を供給可能としたことを特徴とする請求項15に記載の配管系の熱処理装置。

**【請求項 17】**

前記配管は、加熱コイルが加熱する部分の強度または材質の少なくともいずれかが配管軸に沿って変化するものであり、この配管の強度または材質に応じて加熱コイルを配置して加熱度を変化させたことを特徴とする請求項15に記載の配管系の熱処理装置。

**【請求項 18】**

前記配管の内部に導かれた冷却流体を加圧し、配管内部を満水の状態にして冷却流体を流すことを特徴とする請求項15ないし請求項17のいずれか1項に記載の配管系の熱処理装置。

10

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、配管系の熱処理方法および熱処理装置に係り、特に原子力発電プラントに用いられる配管に好適な配管系の熱処理方法および熱処理装置に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

構造材に応力腐食割れが発生するのを抑制するために、腐食環境に曝される領域の引張残留応力を低減する例が、特公昭53-38246号公報に記載されている。この公報では、既設配管溶接部位の配管内面の引張残留応力を低減するために、プラントの配管系を組立てた後に配管系が有する配管の内部に冷却流体を流すとともに配管の外部を加熱し、配管の内面と配管の外表面間に温度差を発生させている。そして、内面を引張降伏させ外面を圧縮降伏させて、応力腐食割れを防止している。

20

**【0003】**

また、特開2001-262235号公報には、容器の溶接部の残留応力を除去するために、パーソナルコンピュータなどを用いて配管・容器局部熱処理装置を構成し、パソコンの指示に従い段取りし、熱処理プログラムパターンに従い自動運転することが記載されている。さらに、特開2001-3120号公報には、容易に施工が可能で、溶接継手の強度を高めて信頼性を向上させるために、耐熱鋼と枝管の溶接において母管と同一鋼種の短管を耐熱鋼と同等組成の溶接材料を用いて母管に接続し、溶接後に耐熱鋼の焼きならし温度および焼き戻し温度で熱処理し、その後短管の先端に枝管を溶接することが記載されている。

30

**【特許文献1】**

特公昭53-38246号公報

**【特許文献2】**

特開2001-262235号公報

**【特許文献3】**

特開2001-3120号公報

**【0004】**

40

**【発明が解決しようとする課題】**

上記従来の技術に記載の各公報では、溶接金属部位に発生するおそれのある応力腐食割れについては、十分には配慮されていない。一般に溶接金属は、配管母材と比較して降伏応力が高く、したがって溶接により発生する引張残留応力も、降伏応力程度になっている可能性が高い。そのため、引張降伏を起こすためには、内面に発生させる引張応力を十分に大きくする必要がある。

**【0005】**

本発明は上記従来の技術の不具合に鑑みなされたものであり、その目的は、原子力プラント等に用いられる配管系の接続部の信頼性を熱処理により向上させることにある。また、簡単な構成で熱処理を実現することにある。

50

## 【 0 0 0 6 】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する本発明の特徴は、管を有する配管系を組立てた後に配管の内部に冷却流体を流し、その後加熱コイルを有する高周波加熱装置を用いて配管を加熱して配管の内面と配管の外表面との間に温度差を発生させる熱処理方法において、配管の軸方向に延びたスペーサを、配管の周方向に複数個分散して配置し、配管の軸方向で2分割された加熱コイルをそれぞれ複数個のスペーサを挟んで接続して通電の経路を形成し、配管表面と加熱コイルとの距離をスペーサにより保って、配管の内面と配管の外表面との間に温度差を発生させ、内面を引張降伏させ、外面を圧縮降伏させることを特徴とするものである。

## 【 0 0 0 7 】

そしてこの特徴において、冷却流体が純水であってもよく、また配管系は原子炉配管であり、冷却流体は炉水であってもよい。また、配管の外表面から加熱コイルの内表面までの距離を、加熱コイルの長手方向に変化させるのが好ましく、加熱コイルの中心を配管の中心から偏心させることにより、加熱コイルと配管外表面間距離を周方向に変化させるようにしてもよい。

## 【 0 0 0 8 】

好ましくは、配管と加熱コイル間の隙間を周方向にほぼ一定にし、この形成された隙間内の空気の流動を防止するか、加熱コイルの巻き数は少なくとも2巻きを超えており、この巻き間隔を変化させる。また好ましくは、加熱コイルを少なくとも2個備え、各加熱コイル毎に電流を制御可能とする。

## 【 0 0 0 9 】

そして、加熱コイルに供給する高周波電流の周波数を、時間とともに変化させてもよく、加熱コイルが加熱する配管表面の温度を測定し、この測定した温度に基づいて加熱コイルに供給する電流を制御してもよく、加熱コイルが加熱する部分の配管の強度または材質の少なくともいずれかが配管軸に沿って変化する場合には、この配管の強度または材質に応じて加熱コイルを配置して加熱度を変化させてもよい。

## 【 0 0 1 0 】

また好ましくは、加熱コイルが加熱する配管表面の電流または電圧の少なくともいずれかを検出し、この検出値に基づいて加熱コイルに供給する電流を制御するものであり、加熱するコイルを設置する前に配管系内面の欠陥の有無を非破壊検査で確認し、欠陥が検出された場合は加熱コイルを用いて欠陥が検出されない場合とは異なる加熱を欠陥近傍に施すのがよい。

## 【 0 0 1 1 】

さらに、配管の外表面を全周にわたり冷却する冷却部の軸方向前後方向に加熱部を形成し、この加熱部を加熱コイルにより配管の全周にわたり加熱するとか、配管外表面を全周にわたり加熱コイルにより加熱する加熱部の軸方向前後方向に配管の全周にわたり冷却する冷却部を形成するようにしてもよい。

## 【 0 0 1 2 】

上記目的を達成するための本発明の他の特徴は、配管系の外表面側に配置され、配管系の軸方向で2分割された高周波誘導加熱用の加熱コイルと、配管系の軸方向に延びたスペーサを配管の周方向に複数個分散させ、分割された加熱コイル毎に配置させるスペーサ周方向取付治具と、加熱コイルに取り付けられ内部を冷却水が循環する冷却水配管と、接続された高周波誘導加熱用の加熱コイルに高周波電流を供給する手段と、加熱コイルが加熱した配管系の外表面の温度を検出する温度測定装置と、この温度測定装置が検出した温度に基づいて加熱コイルを制御する制御装置とを備え、スペーサを介して配管系の表面と加熱コイルとの距離を保って、加熱コイルにより配管系を加熱して配管系の内面に圧縮残留応力を発生させることを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 3 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明のいくつかの実施例を図面を用いて説明する。図1ないし図5は本発明に係

10

20

30

40

50

る配管系の熱処理装置の一実施例の図である。図 1 では、配管の外周部に熱処理装置を取付けた様子を模式的に示している。配管の中心軸が水平になるように設置された直管 1 a と直管 1 b を溶接部位 2 で溶接し、溶接部内面に圧縮残留応力を発生させている。配管外面の溶接金属部位に、溶接部表面の温度を測定するための熱電対 2 2 が取付けられている。熱電対 2 2 はケーブル 2 3 を介して温度計測機 2 1 a に接続されている。温度計測機 2 1 a は、熱電対 2 2 による熱起電力による電圧を A D コンバーター（図示していない）によりデジタル値に変換し、制御装置 1 8 に送っている。

#### 【 0 0 1 4 】

配管には、スペーサー 1 2 を介して加熱コイル 1 1 が螺旋状に取付けられている。加熱コイル 1 1 の加熱コイル端部 1 0 a、1 0 b には、高周波電流が高周波発信器 1 7 からトランス 1 6 およびケーブル 1 4 を介して供給される。ケーブル 1 4 の途中には、二次電流検出用の電流検出器 2 0 が取付けられており、二次電流計測機 2 1 b と A D コンバータ（図示していない）を介して制御装置 1 8 に送る。制御装置 1 8 は、トランスで発生させる高周波電流の実効値と周波数とを制御する図示しない制御手段を有している。さらに、加熱コイル 1 1 およびトランス 1 6、高周波発信器 1 7 には、冷却水循環機構 1 9 よりホース 1 5 を介して冷却水が供給される。

#### 【 0 0 1 5 】

次に、装着する部品である加熱コイル 1 1、および加熱コイルを支持するスペーサー 1 2、およびスペーサー周方向取付治具について順次説明する。

#### 【 0 0 1 6 】

図 2 に加熱コイル 1 1 構造の詳細を示す。加熱コイルは高周波電流が流れる帯状の銅板 1 1 a と、銅板 1 1 a を冷却するための管 1 1 b から構成される。

#### 【 0 0 1 7 】

図 3 に配管 1 の中心軸を法線とするような平面で仮想的に切ったときの断面を示す。スペーサー 1 2 は、スペーサー周方向取付治具 1 3 a と 1 3 b のそれぞれに約 4 5 ° 間隔で取付けられている。また、スペーサー 1 2 は、配管周方向の上側と、配管周方向の下側とを比較すると、下側の方がスペースが小さくなるように設定されている。スペーサー周方向取付治具 1 3 a、1 3 b の 2 つの部分を実ボルトおよびナット 2 4 で固定して、配管 1 に取付ける。

#### 【 0 0 1 8 】

図 4 に熱処理装置を配管に設置するために、分離した状態を示す。半円弧上のスペーサー周方向取付治具 1 3 a と 1 3 b には、スペーサー 1 2 が周上に取付けられている。スペーサー周方向取付治具 1 3 a と 1 3 b の曲率半径は配管 1 の外面の曲率半径と等しくなるようにしてある。そのため、設置に際しては、半円弧上のスペーサー周方向取付治具を管表面に合わせて取付けるのみで配管表面と加熱コイルの間の隙間を適切にとることが可能となる。スペーサー 1 2 とスペーサー 1 2 の間には、断熱材 2 5 が設置されている。

#### 【 0 0 1 9 】

加熱に際して、管表面が空気に曝されていると空気との熱伝達により管表面の加熱が進まない。一方、断熱材 2 5 により配管表面から周囲への熱伝達を小さくすることにより効率良く配管を加熱できる。また、断熱材はスペーサーおよび加熱コイルと一体となっているため工数の増加は伴わず、短時間で設置することが可能である。断熱材 2 5 は、周囲の空気への熱伝達を小さくするものであれば何でも適用できるが、例えば電氣的絶縁性を有し、不燃性の繊維からなる綿状の材料を用いる。

#### 【 0 0 2 0 】

次に熱処理の施工の手順について説明する。図 1 において、装置を図示される状態に準備した後に、溶接継手 2 で接合されている配管 1 a と配管 1 b の内部を冷却流体で満たし、また、冷却水循環装置 1 9 を起動して加熱コイル 1 1 およびトランス 1 6、高周波発信器 1 7 に冷却水を供給した後に、加熱コイル 1 1 に高周波電流を流す。加熱コイル 1 1 を流れる高周波電流により、配管外表面には誘導電流が誘起され、それにより配管の電気抵抗により発熱する。配管表面の温度は熱電対 2 2 により測定され、制御装置 1 8 により外表

10

20

30

40

50

面が所定の温度になるに加熱コイルに供給する電流が制御される。一方、配管の内面は冷却材と接しているため、外面よりも低い温度となる。そのため、配管の外面と内面で温度差が発生する。

#### 【0021】

配管溶接部に発生している溶接残留応力は、周上の位置によらずほぼ一定である。そのため、全周にわたって配管内面に圧縮残留応力を発生させるためには、配管の全周にわたって、配管の外面と内面の温度差が周上の位置によらず一定になるように発生させるのが好ましい。そこで、配管の外面と内面に発生する温度差について説明する。

#### 【0022】

配管内面の溶接残留応力を低減するのに好適な管厚さ方向の温度分布は、例えば、材料の鋭敏化が発生するタイプ304ステンレス鋼では最高温度が550以下、内外表面の温度差は220以上であるとされている。これらの最高温度の値、および内外表面の温度差の値は、材料の鋭敏化の発生の有無および材料の物性値（ヤング率、ポアソン比、降伏応力、線膨張係数）から求められたものである。また、タイプ316Lステンレス鋼では、材料の鋭敏化が発生しにくいため、最高温度を550よりも高い温度に設定しても問題ない。

10

#### 【0023】

図5に、配管の外面を加熱中の内面から外面までの温度分布を示す。配管1の外表面と加熱コイル11との距離が周方向にわたって一定の場合条件と、配管1の外表面と加熱コイル11との距離が下側で小さく上側で大きい場合について、配管の下側の評価ライン（図中の41aまたは42a）、中間位置の評価ライン（図中の41bまたは42b）、および上側の評価ライン（図中の41cまたは42c）のそれぞれについて示す。

20

#### 【0024】

図5に示すグラフでは、配管内面からの距離を横軸にとっている。原点Oは管内面を表しており、破線43で示す位置は管外面を表している。水平方向に設置された配管では、加熱により内部の水が対流を起こす。そのため、加熱コイルが管の全周にわたって配管表面と等距離に設置されていたとすると、高周波誘導加熱による発熱量は全周にわたって等しいのに対して、管内面では冷却材である水が対流を起こすため、結果として管上部と比較して管底部の方が温度が上昇しにくくなる。そのため、配管の下側の評価ライン41a、中間位置の評価ライン41b、および上側の評価ライン41cに沿った温度分布を示すと、曲線44a、44bおよび44cのようになり、配管の周方向において、上側と比較して下側になるほど内面と外面の温度差は小さくなる。

30

#### 【0025】

一方、配管の上側と比較して下側の方が加熱コイルと管表面の距離が小さくなるように設定されていると、下側の方が発熱量が大きくなる。そのため、配管内に満たされた冷却材が対流を起こしても、上側と比較して下側の方が発熱量が大きいため、配管の下側の評価ライン42a、中間位置の評価ライン42b、および上側の評価ライン42cに沿った温度分布を示すと、いずれの評価ラインにおいても曲線45のようになり、内面と外面の温度差は、配管の周方向全体にわたって均一にすることができる。

#### 【0026】

このように、図4に示した周方向に2分割されるスペーサー周方向取付治具に、配管の周方向の位置で上側と比較して下側になるほど配管外表面とコイルとの隙間が小さくなるようなスペーサーを設置して、そのスペーサー上に加熱コイルを設置することにより、配管に加熱コイルを設置する際に配管外面と加熱コイルの隙間を短時間に精度よく設定することが容易になる。さらに、配管の全周にわたって内面と外面の温度差が一様になるように配管を加熱することが可能となる。本加熱方法を用いることにより配管内面の引張残留応力を圧縮応力化できる。

40

#### 【0027】

なお、本実施例では、加熱コイルを支持するスペーサーの周方向の間隔を約45として、スペーサーとスペーサーの間に断熱材を設置して隙間内の空気の流動を防止することに

50

より、配管の表面を高温に保つようにした。断熱材を設置する代わりに、スペーサーの数を増やし、スペーサーの周方向の間隔を密にすることにより、隙間内の空気の流動は防止しても良い。

【0028】

本発明に係る熱処理装置の他の実施例を、図6を用いて説明する。本実施例の熱処理装置は、配管の中心軸が鉛直になるように設置された直管と直管の溶接部位に適用されている。図1に示した実施例の場合とは、スペーサー12の形状が異なり、加熱コイル11と配管1の外面の距離は、配管の中心軸に沿って下方の方が、上方と比較して小さくなる形状になっている。

【0029】

図6において、スペーサー12と、それに固定された加熱コイル11を配管溶接部位2を軸方向に挟む位置に設置し、図1に示した実施例と同様に冷却水循環装置により加熱コイルに冷却水を循環しながら、加熱コイルに高周波の電圧を負荷する。加熱コイルに高周波電流が供給されることにより配管の外表面では誘導電流が誘起され、配管の電気抵抗により発熱が起きる。配管の下方の方が上方と比較して管外表面と加熱コイルとの間隔は小さくなるように加熱コイルが設置されている。そのため、発熱量は、相対的に下方の方が上方よりも大きくなる。

【0030】

高周波誘導加熱により管の温度が上昇し配管内部の水の温度が上昇すると、温度が上昇した水は上方に移動する。すなわち、対流が起きる。対流により、高周波誘導加熱で発生した熱のうち、管内表面から水に伝達される熱の一部分は上方に移動する。

【0031】

仮に、加熱コイルと配管の外表面の距離が配管の軸方向全体にわたって一様であれば、加熱コイルから負荷される高周波誘導により配管で発生する熱量は、軸方向で一様となる。また、配管内面で管から水に伝達される熱量は、上方と比較して下方の方が大きいため、管の上方と下方とで断面内の温度分布が異なる結果になり、配管内面に発生している引張残留応力を均一に低減できない可能性がある。

【0032】

一方、本実施例で示したように、管の外表面と加熱コイルとの距離を、下方の方が上方よりも小さく設置した場合では、下方の方が発熱量が大きくなるため、下方において管内面から水に伝達される熱量が、上方よりも大きい場合に、配管全体では軸方向のどの位置でも内外表面の温度差は一様にすることができる。結果として配管内面の溶接部位に圧縮残留応力を発生させることができる。

【0033】

なお、図1に示した実施例と同様に、本実施例においてもスペーサーとスペーサーの間に断熱材を入れることにより、配管の加熱を効率良く行うことが可能であるため、断熱材を入れた構成としても良い。

【0034】

また、スペーサーにより保持される加熱コイルと配管の表面の距離を軸方向において一定とし、加熱コイルの間隔を下側の方を密にした構成として、下側の発熱量を大きくすることにより配管の軸方向の温度分布を制御しても良い。

【0035】

上記の各実施例において、配管内面に接触している水が沸騰して熱伝達が低下することや対流が起こることを防止するために、配管の内部を流れている冷却流体を加圧し、その加圧された流体を配管内部に流して冷却しても良い。

【0036】

上記各実施例において、加熱コイルに供給する高周波電流の周波数は、時間によらず一定とした。次に、図7に示すような時間とともに高周波電流の周波数が変化する方法について説明する。

【0037】

10

20

30

40

50

加熱コイルに供給される高周波電流の周波数と、配管の外面に誘導電流が発生する深さとの関係は、周波数が高いほど浅くなる。図8に配管1の周囲に加熱コイル11を設置して周波数 $f_h$ および $f_l$  ( $f_h > f_l$ )で加熱したときの配管の評価ライン41bに沿った温度分布を示す。図中のグラフの横軸には配管内面からの距離をとっており、原点Oが配管内面を示し、破線43で示す位置が配管外面を示す。周波数が $f_h$ の場合と $f_l$ の場合を比較すると、発熱する領域は周波数が低い領域の方が深い。そのため、評価ライン41bに沿った分布は、周波数が高い場合と低い場合について相対的に示すとそれぞれ曲線51aおよび51bのようになる。コイルの周波数を図7に示すように、周波数 $f_h$ の時間を $t_h$ とし、周波数 $f_l$ の時間を $t_l$ として、このサイクルを繰返すことにより、配管の表面付近が加熱される場合と深い領域が加熱される場合とが重畳し、図8の実線52で示す温度分布となる。配管内面の近傍における温度分布の勾配は、周波数が $f_h$ または $f_l$ を単独で負荷した場合である51aまたは51bと比較して、52の方が大きい。厚さが厚い場合には、内面で発生する熱応力は温度分布の勾配に依存して大きくなる。そのため、負荷する周波数を $f_h$ と $f_l$ を交互に用いることにより、配管内面に発生する熱応力を引張側で大きくすることができ、結果として配管内面の残留応力を圧縮にすることができる。

10

#### 【0038】

本発明のさらに他の実施例を図9を用いて説明する。上記各実施例では、配管内面の残留応力を改善する部位に対して1個の加熱コイルを配置していた。本実施例では、ノズル101および配管102の軸方向の位置において、複数の加熱コイル111、112、113を用いて行い、それぞれの加熱コイルにおいて、加熱コイルが面する配管の外面の温度を、配管外面に取付けた熱電対131、132、133により測定し、図中に図示していない熱電対の起電力をケーブルを介して温度測定装置に伝え、次にADコンバーターを介して制御装置に送り、加熱コイルに負荷する電流を制御しながら配管を加熱することを特徴としている。

20

#### 【0039】

図9に示すユニット141、142、143は加熱コイル111、112、113のそれぞれに電流を負荷するための制御装置、電源、トランス、および冷却水循環装置をまとめて示している。

#### 【0040】

本実施例は、溶接部位の配管の管厚さが溶接部位近傍で変化する配管に適用した例である。溶接部位とその周囲の管厚さを比較したときに、周囲の管厚さが大きく変化する部位を1組の加熱コイル110で加熱した場合の温度分布を図10を用いて説明する。ノズル101に配管102が溶接部位2で接合されている場合であり、1組の加熱コイル110で加熱した場合である。100、300、および500の等温線を図注に実線151、実線152、および実線153で示す。溶接部位近傍で発熱した熱が熱伝導により管厚さが厚い領域に移動していく。そのため、溶接部位では所定の温度差を発生させることができない。なお、図示していないが、管厚さが厚い部位で所定の温度差を発生させようとすると、逆に溶接部位の温度が過度に高くなる。そのため、溶接部位に圧縮残留応力を発生させることができない。

30

40

#### 【0041】

一方、図9に示すような3組の独立した制御系を有する加熱コイルにより加熱した場合の温度分布を図11を用いて説明する。加熱コイル111と112により溶接部位2およびその近傍と配管102が加熱される。また、厚さが配管102と比較して厚くなるノズル101の部分は、加熱コイル113により、加熱コイル111および112よりも強い出力で加熱される。そのため、ノズル101の領域の100、300、および500の等温線である実線151、152、および153の形は、図10の場合と異なり深くまで高温域を広げることが可能となる。結果として、1組の加熱コイルで加熱した場合と比較して、3組の加熱コイルで加熱した場合の方が絶対値の大きい圧縮残留応力を配管の内面に発生させることができる。

50



## 【 0 0 4 2 】

なお、本実施例では、電源とトランスを各組のコイル毎に設けたが、電源とトランスを 1 組として、1 組の電源とトランスと、各コイルとの間にリレー機構を有する制御盤を介する構成としても良い。

## 【 0 0 4 3 】

また、本実施例では、加熱コイルに供給する電流を制御するために配管表面の温度を熱電対により測定する構成としたが、配管表面に誘起されている誘導電流または電圧を測定し、その値を求めて加熱コイルに供給する電流を制御しても良いし、1 個のコイルを配管の軸方向に移動させ、移動した部位毎に発熱量を変化させるようにしても良い。

## 【 0 0 4 4 】

次に、配管の材料特性が配管の中心軸に沿う方向で変化する場合について説明する。図 9 において、溶接部位 2 の強度が配管 1 0 2 の強度よりも大きい場合である。配管の材質は、タイプ 3 0 4 ステンレス鋼である。溶接金属部位と配管の母材を比較すると、強度は溶接部位のほうが高い。このように材強度が異なる領域に、配管の内面と外面に発生する温度差が等しくなるように加熱を行うと、配管側の強度の方が溶接金属側と比較して小さいため、配管側では溶接金属部から引張の熱荷重を受けることにより降伏し引張の塑性ひずみが発生する。溶接金属部においても引張の塑性ひずみが発生するが、配管側と比較すると小さい。加熱を停止し、全体が均一な温度になった時点で、管内面に発生している塑性ひずみは配管側の方が溶接金属部よりも大きくなっている。そのため、溶接金属部と配管の境界では、溶接金属部位に引張残留応力を付与してしまう。このように、溶接金属部に引張残留応力を発生させてしまうのを防止するために、図 9 において、独立に高周波電流を制御できる構成において、加熱コイル 1 3 2 を溶接部位 2 に設置し、また、加熱コイル 1 3 1 を配管側に設置して、溶接部位 2 で発生する内外面の温度差の方が、配管側で発生する内外面の温度差と比較して小さくなるように設定すれば良い。発生する温度差を小さくする割合としては、配管と溶接部位の強度の比から見積もれば良い。タイプ 3 0 4 ステンレス鋼では、母材の強度は 2 7 0 M P a であり、溶接部位は 4 0 0 M P a であるので、約 0 . 6 7 倍となるように調節すれば良い。このように、配管の材料特性が配管上の範囲により異なる場合には、材料特性が異なる範囲ごとに加熱コイルを設置し、それぞれの領域に対して高周波電流の制御を行えば良い。

## 【 0 0 4 5 】

本発明のさらに他の実施例を、図 1 2 を用いて説明する。本実施例は、突合せ溶接部位の管内表面の軸方向の引張残留応力を低減させるのに有効な方法である。2 組の加熱コイル 2 1 1 と加熱コイル 2 1 2 を溶接部 2 を挟む領域に設置する。また、配管の溶接部 2 の外面には、加熱中に配管の溶接部 2 の外面を冷却するための水噴射用のノズル 2 2 1 と水の回収機構 2 2 2 からなる冷却機構を設けている。このような配置で、加熱コイル 2 1 1 と加熱コイル 2 1 2 と冷却機構を溶接部の周囲に設置した後に、冷却機構の水回収機構 2 2 2 を作動させ、次に水噴射用のノズル 2 2 1 から冷却水を噴射させる。冷却機構を配管の軸方向に挟む配置で設置した 2 組の加熱コイルのそれぞれに高周波電流を負荷する。

## 【 0 0 4 6 】

冷却機構による溶接部位表面の冷却と、2 組の加熱コイルによる加熱を行ったときの配管断面の変形および等温線を図 1 3 に示す。図 1 3 において、実線 2 5 1、実線 2 5 2、実線 2 5 3、および実線 2 5 4 はそれぞれ 1 0 0 、 2 0 0 、 3 0 0 、および 4 0 0 の等温線を示している。加熱コイル 2 1 1 および加熱コイル 2 1 2 から配管の外面近傍に誘導される誘導電流により、コイルに面する領域の温度が上昇し、また、高温域は熱伝導により配管内部に広がっていく。また、溶接部位は水冷却されているため、加熱している領域と比較すると温度上昇は小さい。このとき、加熱領域は温度上昇により径方向に膨張する変形が起きる。一方、溶接部位は冷却脚機構により冷却されているため径方向の変形は加熱領域と比較すると小さい。そのため、溶接部位は内外表面ともに内側に凸の変形を起こす。このような変形の形態では、配管の軸方向応力は、内面で引張、外表面で圧縮となる。また、周方向応力は、内面および外面でともに圧縮となる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 7 】

溶接残留応力が発生している配管に対して、上記に記載したような熱応力が加えられ、その後に加熱を停止し全体が均一な温度になったときに、配管の溶接部位の内面の軸方向応力は圧縮となる。

## 【 0 0 4 8 】

本発明のさらに他の実施例を図 1 4 を用いて説明する。本実施例は、突合せ溶接部位の管内表面の周方向の引張残留応力を低減させるのに有効な方法である。水噴射用のノズル 2 2 1 と水回収機構 2 2 2 から構成される 2 組の急冷機構を溶接部 2 を挟む領域に設置する。また、配管 2 0 1 の溶接部位 2 の外面には、配管の溶接部位 2 の外面を加熱するための加熱コイル 2 1 1 を設けている。このような配置で、冷却機構と加熱コイル 2 1 1 を溶接部の周囲に設置した後に、冷却機構の水回収機構を作動させ、次に水噴射用のノズルから冷却水を噴射させる。2 組の冷却機構に軸方向で挟まれる配置で設置した加熱コイル 2 1 1 に高周波電流を負荷する。

10

## 【 0 0 4 9 】

2 組の冷却機構による溶接部位表面の冷却と、加熱コイルによる加熱を行ったときの配管断面の変形および等温線を図 1 5 に示す。図 1 5 において、実線 2 5 1、実線 2 5 2、実線 2 5 3、および実線 2 5 4 はそれぞれ 1 0 0、2 0 0、3 0 0、および 4 0 0 の等温線を示している。加熱コイル 2 1 1 から配管の外面近傍に誘導される誘導電流により、コイルに面する領域の温度が上昇し、また、高温域は熱伝導により配管内部に広がっていく。また、その周囲では冷却機構により水冷却されているため、加熱している領域と比較すると温度上昇は小さい。このとき、加熱領域は温度上昇により径方向に膨張する変形が起きる。一方、溶接部位は冷却脚機構により冷却されているため径方向の変形は加熱領域と比較すると小さい。そのため、溶接部位は内外表面ともに外側に凸の変形を起こす。このような変形の形態では、配管の軸方向応力は、内面で圧縮、外表面で引張となる。また、周方向応力は内外面で引張となる。

20

## 【 0 0 5 0 】

溶接残留応力が発生している配管に対して、上記に記載したような熱応力が加えられ、その後に加熱を停止し全体が均一な温度になったときに、配管の内面の溶接部位の周方向応力は圧縮となる。

## 【 0 0 5 1 】

本発明のさらに他の実施例を図 1 6 と図 1 7 を用いて説明する。本実施例は、配管内表面の溶接部位に割れがある継手の場合である。本実施例では、最初に配管溶接部の溶接金属、溶接熱影響部に割れの有無を検査する。検査方法は、既設配管の内面の欠陥を検出する必要があるため超音波探傷を用いる。

30

## 【 0 0 5 2 】

検査の結果、割れが検出された場合に、割れの進展を抑制させるのに好ましい温度分布を図 1 6 を用いて説明する。図 1 6 は、溶接部位の欠陥先端から配管外表面までの評価ライン 3 7 1、および欠陥がない部分の配管の内面から外面までの評価ライン 3 7 2 に沿った、割れの進展を抑制するのに好ましい温度分布である。図中のグラフの横軸は配管内面からの距離をとっており、破線 3 8 1 は配管の内面を基準としたときの欠陥の先端の位置である。また、破線 3 8 2 は配管の外面の位置である。

40

## 【 0 0 5 3 】

上記のような温度分布を発生させるためには、配管の欠陥部位の外面の加熱を周囲と比較して浅くなるように調節する必要がある。そのような温度分布を与える加熱方法を図 1 7 を用いて説明する。図 1 7 では、3 組の加熱コイルを用いて加熱を行っている。割れが検出された溶接部の加熱は周波数を高くして温度分布を発生させる。このような施工装置により割れ先端部分に所定の温度分布を付与することにより、発生している割れに対してその先端部分に圧縮残留応力を発生させることができ、その結果、割れの進展を遅くすることが可能となる。

## 【 0 0 5 4 】

50

本実施例では、３組の加熱コイルを用いる場合を示したが、１組の加熱コイルで、割れが検出された部位の加熱コイルとの間隔だけを広くしたり、加熱コイルの巻き間隔を割れが検出された部位のみ広くしても良い。

【００５５】

本発明のさらに他の実施例を図１８を用いて説明する。本実施例は、沸騰水型原子炉発電プラントの場合である。原子炉圧力容器７００に取付けられた配管７１０と、循環ポンプ７２０と、ライザー管７３０によって、沸騰水型原子炉発電プラントの一つの配管系である再循環系が構成される。多数の曲管および直管等を溶接にて接合することによって、再循環系配管が組立てられる。

【００５６】

原子炉圧力容器７００と再循環系配管の組立てが完了した後に、再循環系配管に水を流しながら配管外面を加熱コイルにより加熱する。直管と直管の溶接部位として図１８中に示した溶接継手７４１、ノズル形状の部位として溶接継手７４２、配管の形状が変化する部位として溶接継手７４３などに適用できる。

【００５７】

配管の中心軸が鉛直方向になる直管どうしの継手７４１に対しては、図６に示したように、配管内面の残留応力を圧縮応力化できる。また、ノズル形状の部位である溶接継手７４２に対しては、図示した方法により配管内面の残留応力を圧縮にすることができる。溶接継手７４３に対しては、配管表面の形状に沿ったスパーサーおよびスパーサー治具を予め製作しておき、スパーサーに加熱コイルを取付けた加熱コイルユニットを予め製作しておき、それを溶接継手７４３の部位に取付けて配管内に炉水を満たしておいて外面を加熱コイルにより加熱することによって、配管内面に圧縮残留応力を発生させることができる。

【００５８】

沸騰水型原子炉発電プラントの再循環系配管に、本実施例の方法を適用する場合は、配管内に炉水が満たされているため、配管内面に新たに冷却材を準備する必要がない。なお、上記説明では沸騰水型原子炉プラントを例にとっているが、加圧水型原子炉プラントおよび重水炉プラント等の他の原子力発電プラント、火力プラントおよび化学プラント等の配管系に対しても同様に本発明を適用することができる。

【００５９】

【発明の効果】

以上述べたように本発明によれば、プラントの配管系を組立てた後に、配管系が有する配管内面に圧縮残留応力を発生させることができるので、配管系の応力腐食割れを防止することができる。さらに、熱処理に必要な加熱コイルを容易に設置できる。また、配管内面の溶接金属部位に圧縮残留応力を発生させることができ、配管系の信頼性が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明に係る熱処理装置の一実施例の模式図である。

【図２】本発明に係る加熱コイルの一実施例の部分斜視図である。

【図３】本発明に係る加熱装置の一実施例の横断面図である。

【図４】本発明に係る加熱装置の一実施例の横断面図である。

【図５】配管の管厚さ方向の温度分布を説明する図である。

【図６】本発明に係る熱処理装置の他の実施例の模式図である。

【図７】加熱コイルに負荷する高周波電流の例を説明する図である。

【図８】加熱コイルによる温度分布を説明する図である。

【図９】本発明に係る熱処理装置のさらに他の実施例の模式図である。

【図１０】従来の配管熱処理を説明する図である。

【図１１】本発明に係る配管熱処理を説明する図である。

【図１２】本発明に係る配管熱処理装置のさらに他の実施例の模式図である。

【図１３】配管の変形を説明する図である。

【図１４】本発明に係る熱処理装置のさらに他の実施例の模式図である。

【図１５】配管の変形を説明する図である。

10

20

30

40

50

【図 1 6】配管の温度分布を説明する図である。

【図 1 7】本発明に係る熱処理装置のさらに他の実施例の模式図である。

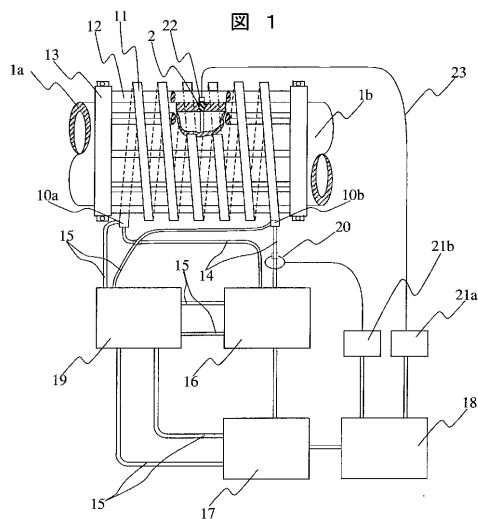
【図 1 8】本発明に係る熱処理装置の適用例の斜視図である。

【符号の説明】

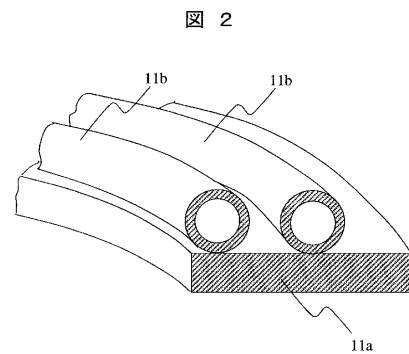
1、1 a、1 b ... 配管、2 ... 溶接部位、1 1 ... 加熱コイル、1 2 ... スペーサー、1 3 ... スペーサー周方向取付治具、1 4 ... 電流ケーブル、1 5 ... 冷却水循環ホース、1 6 ... トランス、1 7 ... 電源、1 8 ... 制御装置、1 9 ... 冷却水循環装置、2 0 ... 電流検出器、2 1 a ... 温度計測機、2 1 b ... 二次電流計測機、2 2 ... 熱電対、2 3 ... ケーブル、2 4 ... ボルト、2 5 ... 断熱材、1 0 1 ... ノズル厚肉部、1 0 2 ... 配管、1 1 0 ... 加熱コイル、1 2 0 ... スペーサー、1 3 1 ... 温度測定用熱電対、1 4 1 ... 電源・冷却水循環装置・制御装置、1 5 1 ... 等温線、2 0 1 ... 配管、2 1 1 ... 加熱コイル、2 2 1 ... 水シャワー機構、2 2 2 ... 水回収機構、3 6 0 ... 割れ、7 0 0 ... 沸騰水型原子炉圧力容器、7 2 0 ... 循環ポンプ、7 3 0 ... ライザー管。

10

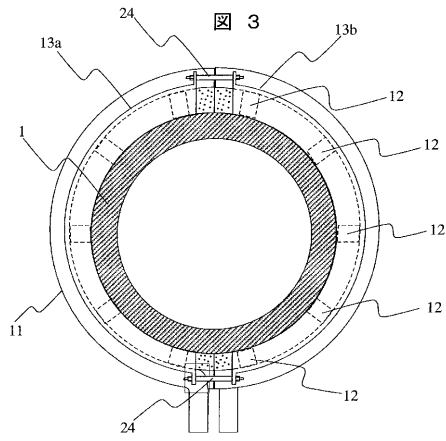
【図 1】



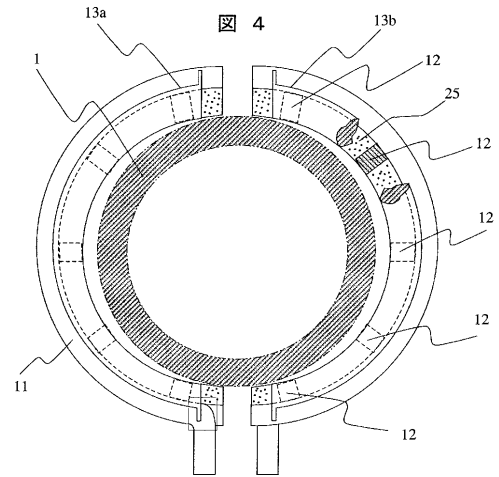
【図 2】



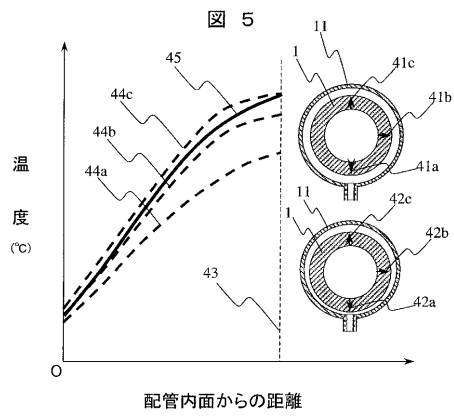
【図 3】



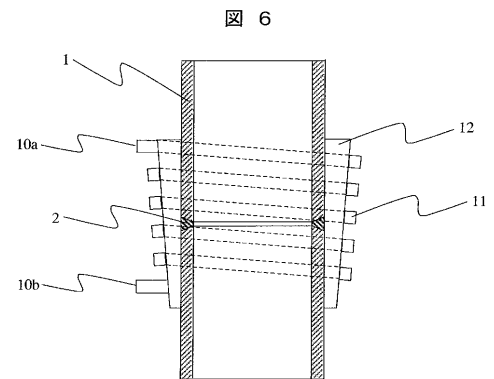
【図 4】



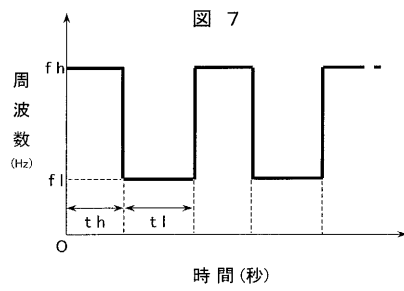
【図 5】



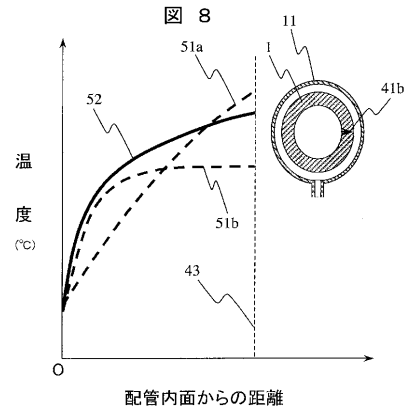
【図 6】



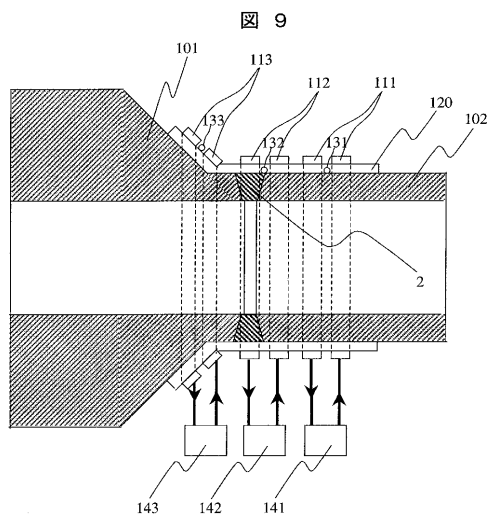
【図 7】



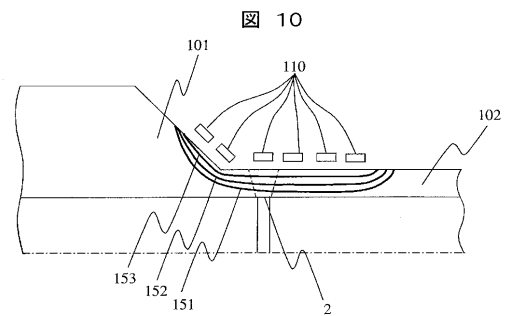
【図 8】



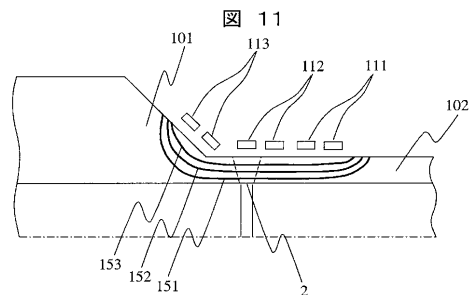
【図 9】



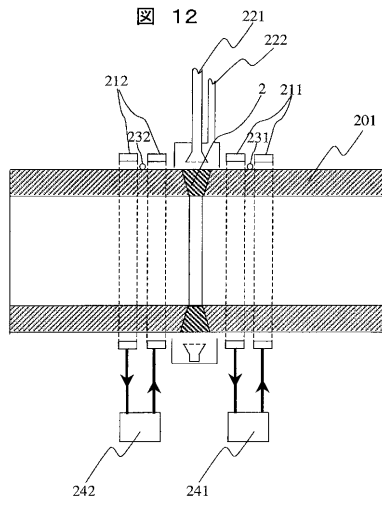
【図 10】



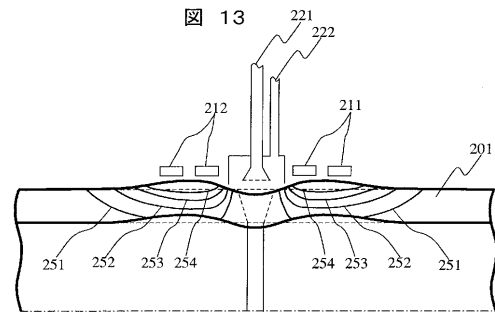
【図 11】



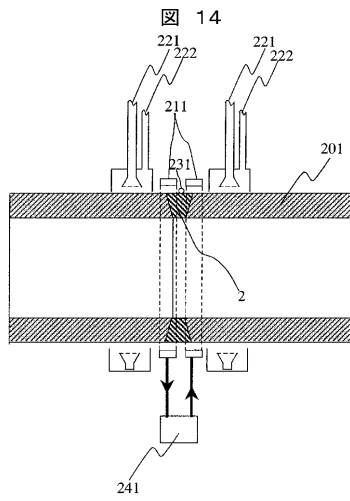
【図 1 2】



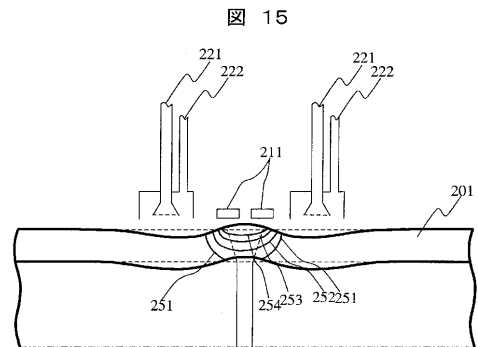
【図 1 3】



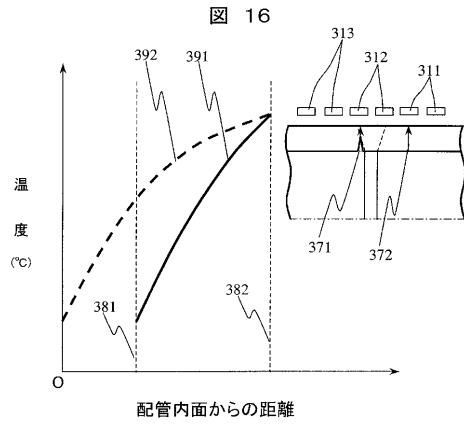
【図 1 4】



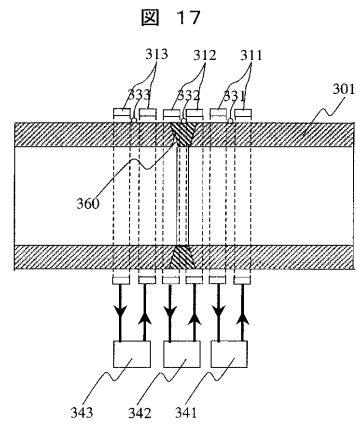
【図 1 5】



【図 16】

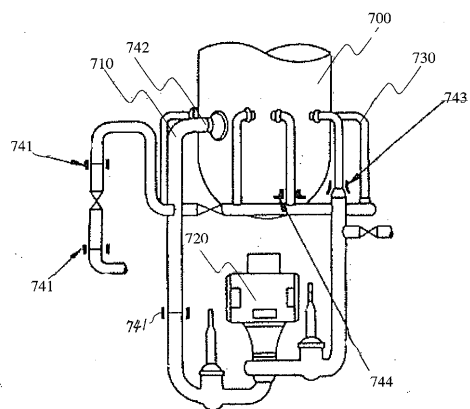


【図 17】



【図 18】

図 18





---

フロントページの続き

(72)発明者 林 章二

茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会社 日立製作所 原子力事業部内

(72)発明者 榎本 邦夫

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地 日立エンジニアリングコンサルティング株式会社内

審査官 鈴木 正紀

(56)参考文献 特開昭63-161122(JP,A)

特開2001-150178(JP,A)

実開平06-039951(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

C21D 9/08

C21D 1/42