(19)日本国特許庁(JP)

# (12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7290995号
(P7290995)

(45)発行日　令和5年6月14日(2023.6.14)

(24)登録日　令和5年6月6日(2023.6.6)

(51)国際特許分類

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Ｇ０１Ｎ　17/02　(2006.01)* | Ｇ０１Ｎ | 17/02 | | |
| *Ｇ０１Ｎ　27/26　(2006.01)* | Ｇ０１Ｎ | 27/26 | ３５１Ｂ | |
| *Ｇ０１Ｎ　27/00　(2006.01)* | Ｇ０１Ｎ | 27/00 | Ｌ | |
| *Ｇ０１Ｎ　27/08　(2006.01)* | Ｇ０１Ｎ | 27/08 | | |

ＦＩ

請求項の数　14　（全22頁）

(21)出願番号　特願2019-98124(P2019-98124)
(22)出願日　令和1年5月24日(2019.5.24)
(65)公開番号　特開2020-193829(P2020-193829A)
(43)公開日　令和2年12月3日(2020.12.3)
審査請求日　令和4年5月11日(2022.5.11)

(73)特許権者　000006208
三菱重工業株式会社
東京都千代田区丸の内三丁目２番３号
(74)代理人　110000785
ＳＳＩＰ弁理士法人
(72)発明者　江川 薫
東京都千代田区丸の内三丁目２番３号
三菱重工業株式会社内
(72)発明者　野口 良典
東京都千代田区丸の内三丁目２番３号
三菱重工業株式会社内
(72)発明者　大塚 瑞希
東京都千代田区丸の内三丁目２番３号
三菱重工業株式会社内
(72)発明者　河▲崎▼ 裕樹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　試験片ホルダ及び洗浄システム並びに腐食量測定方法及び腐食量測定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

管状試験片の管軸方向において両側から挟んで前記管状試験片を保持するための第１ホルダ部及び第２ホルダ部を含むホルダ本体と、

前記管状試験片の内部流路に連通するように前記第１ホルダ部に設けられる第１流路と、

前記管状試験片の前記内部流路に連通するように前記第２ホルダ部に設けられる第２流路と、

前記第１ホルダ部と前記管状試験片との間をシールするための第１シール部材と、

前記第２ホルダ部と前記管状試験片との間をシールするための第２シール部材と、

前記第１流路または前記第２流路に露出するように前記ホルダ本体に設けられ、電気化学測定装置の対極用端子に接続される対極と、

を備える試験片ホルダ。

【請求項２】

前記第１ホルダ部又は前記第２ホルダ部は絶縁材料で形成された

請求項１に記載の試験片ホルダ。

【請求項３】

前記第１ホルダ部と前記第２ホルダ部との間に位置し、前記管状試験片の外表面を電気化学測定装置の試料極用端子に接続するための導電部を備える請求項１又は２に記載の試験片ホルダ。

【請求項４】

前記管状試験片を前記第１ホルダ部と前記第２ホルダ部との間に挟んだ状態で、前記第１ホルダ部と前記第２ホルダ部とを締結するための締結部を備える
請求項１乃至３の何れか一項に記載の試験片ホルダ。
【請求項５】
前記締結部は、
前記第１ホルダ部および前記第２ホルダ部の各々に設けられたボルト孔に挿通されるボルトと、
前記ボルトに螺合されるナットと、
を含む請求項４に記載の試験片ホルダ。
【請求項６】
前記第１ホルダ部には、前記管軸方向における端面に、前記第１シール部材を受け入れるための凹部が設けられた
請求項１乃至５の何れか一項に記載の試験片ホルダ。
【請求項７】
前記第１シール部材は、前記凹部の底面に接するように設けられる円盤部を含む
請求項６に記載の試験片ホルダ。
【請求項８】
前記第１シール部材は、前記円盤部から、前記管軸方向において前記凹部の前記底面とは反対側に突出する筒形部をさらに含む
請求項７に記載の試験片ホルダ。
【請求項９】
前記第１流路または前記第２流路に露出するように前記ホルダ本体に設けられ、前記電気化学測定装置の参照極用端子に接続される参照極と、
をさらに備える
請求項１乃至８の何れか一項に記載の試験片ホルダ。
【請求項１０】
前記ホルダ本体は、前記第１ホルダ部および前記第２ホルダ部の間に保持される前記管状試験片とは別の他の管状試験片を保持するための第３ホルダ部を含み、
前記第３ホルダ部は、前記管軸方向において、前記第１ホルダ部又は前記第２ホルダ部の一方に対向して位置し、
前記他の管状試験片の内部流路と連通するように前記第３ホルダ部に設けられる第３流路と、
前記第３ホルダ部と前記他の管状試験片との間をシールするための第３シール部材と、
を備える請求項１乃至９の何れか一項に記載の試験片ホルダ。
【請求項１１】
ボイラに設けられる複数の伝熱管を洗浄するための洗浄システムであって、
請求項１乃至１０の何れか一項に記載の試験片ホルダと、
前記複数の伝熱管に接続され、前記複数の伝熱管を通って洗浄液を循環させるための洗浄液循環ラインと、
前記洗浄液循環ラインから分岐し、前記試験片ホルダの前記第１流路又は前記第２流路に接続される分岐ラインと、
前記分岐ラインを介して前記試験片ホルダに導入される前記洗浄液の温度を調節するための温度調節部と、
前記分岐ラインを介して前記試験片ホルダに導入される前記洗浄液の流量を調節するための流量調節部と、
前記温度調節部及び前記流量調節部を制御するための制御部と、
を備えた伝熱管の洗浄システム。
【請求項１２】
請求項１乃至１０の何れか一項に記載の試験ホルダに前記管状試験片を設置するステップと、

前記第１流路及び前記第２流路を介して、前記管状試験片の前記内部流路に洗浄液を供給して、前記管状試験片を前記洗浄液で洗浄するステップと、
前記洗浄液での洗浄中に、前記管状試験片の分極抵抗を測定するステップと、
前記分極抵抗の測定結果から、前記洗浄中の腐食由来の鉄濃度を算出するステップと、
を備える腐食量測定方法。
【請求項１３】
試験片のスケール付着量を計測するステップと、
洗浄液での洗浄により前記試験片に付着したスケールの全量が除去されたと仮定した場合の前記洗浄液中の鉄濃度を、前記スケール付着量に基づき予測するステップと、
前記試験片を前記洗浄液で洗浄しながら、前記試験片を用いて分極抵抗を測定し、前記分極抵抗の測定結果から、前記洗浄液中の腐食由来の鉄濃度を算出するステップと、
前記試験片を前記洗浄液で洗浄しながら、前記洗浄液中の全鉄濃度を計測するステップと、
前記全鉄濃度の計測値と、前記腐食由来の鉄濃度の算出値との差分から、前記洗浄液中のスケール由来の鉄濃度を算出するステップと、
を備える腐食量測定方法。
【請求項１４】
洗浄液での洗浄により試験片に付着したスケールの全量が除去されたと仮定した場合の前記洗浄液中の鉄濃度を、前記試験片のスケール付着量に基づき予測する予測部と、
前記試験片を前記洗浄液で洗浄しながら、前記試験片を用いて分極抵抗を測定する分極抵抗測定部と、
前記分極抵抗の測定結果から、前記洗浄液中の腐食由来の鉄濃度を算出する第１算出部と、
前記試験片を前記洗浄液で洗浄しながら、前記洗浄液中の全鉄濃度を計測する濃度計測部と、
前記全鉄濃度の計測値と、前記腐食由来の鉄濃度の算出値との差分から、前記洗浄液中のスケール由来の鉄濃度を算出する第２算出部と、
を備える腐食量測定装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、試験片ホルダ及び洗浄システム並びに腐食量測定方法及び腐食量測定装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
金属表面の状態を知るために、金属表面における腐食速度を計測する場合がある。
【０００３】
例えば、特許文献１には、金属管の内面の腐食しにくさ（耐食性）を計測するための装置が開示されている。この装置では、金属管の内部に一対のフランジを挿入されており、金属管の内面とフランジとで囲まれる部屋が形成されるようになっている。そして、この部屋を海水で満たした状態で、該部屋内に露出するように設けられた対極及び参照電極を用いた電気化学測定により、金属管内面の分極抵抗を計測し、該分極抵抗に基づいて、金属管の耐食性を評価するようになっている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【文献】特許第２８２４８０４号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】

ところで、金属管内を流れる流体の液性が変化する場合には、金属管内を流体が流れている状態で金属管内面の時々刻々の腐食量や腐食速度の評価を行う必要がある。しかし、特許文献１に開示される装置では、多量の液体を流通させながら電気化学測定を行うことは想定されていないため、金属管内に多量の液体を流通させる場合に耐圧性及びシール性が十分ではなくなると考えられる。そこで、金属管内に液体を流通させながら、金属管内面の腐食量又は腐食速度を測定することが望まれる。

【０００６】

上述の事情に鑑みて、本発明の少なくとも一実施形態は、管状試験片（金属管）に液体を流通させながら、管状試験片（金属管）の腐食速度を測定可能な試験片ホルダ及び洗浄システム並びに腐食量測定方法及び腐食量測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

（１）本発明の少なくとも一実施形態に係る試験片ホルダは、

管状試験片の管軸方向において両側から挟んで前記管状試験片を保持するための第１ホルダ部及び第２ホルダ部を含むホルダ本体と、

前記管状試験片の内部流路に連通するように前記第１ホルダ部に設けられる第１流路と、

前記管状試験片の前記内部流路に連通するように前記第２ホルダ部に設けられる第２流路と、

前記第１ホルダ部と前記管状試験片との間をシールするための第１シール部材と、

前記第２ホルダ部と前記管状試験片との間をシールするための第２シール部材と、

を備える。

【０００８】

上記（１）の構成によれば、管状試験片（金属管）を、シール部材を介して、第１ホルダ及び第２ホルダで挟んで保持するとともに、管状試験片の内部流路と連通可能な第１流路及び第２流路を設けたので、第１流路及び第２流路を介して、管状試験片の内部流路に流体（洗浄液等）を流通させることができる。これにより、管状試験片の内部流路に液体を流通させながら、各種測定（例えば電気化学測定）が可能となり、管状試験片内面の腐食速度を測定することができる。

【０００９】

（２）幾つかの実施形態では、上記（１）の構成において、

前記試験片ホルダは、

前記第１ホルダ部と前記第２ホルダ部との間に位置し、前記管状試験片の外表面を電気化学測定装置の試料極用端子に接続するための導電部を備える。

【００１０】

上記（２）の構成では、第１ホルダ部と第２ホルダ部との間に管状試験片の外表面と電気的に接続される導電部を設けたので、該導電部を介して、電気化学測定装置の試料極用端子に、管状試験片を接続することができる。よって、これにより、管状試験片の内部流路に液体を流通させながら管状試験片についての電気化学測定（例えば管状試験片内面の分極抵抗の計測）が可能となり、この測定結果に基づいて、管状試験片内面の腐食速度を測定することができる。

【００１１】

（３）幾つかの実施形態では、上記（１）又は（２）の構成において、

前記試験片ホルダは、

前記管状試験片を前記第１ホルダ部と前記第２ホルダ部との間に挟んだ状態で、前記第１ホルダ部と前記第２ホルダ部とを締結するための締結部を備える。

【００１２】

上記（３）の構成によれば、管状試験片を第１ホルダ部と第2ホルダ部との間に挟んだ状態で、締結部により第１ホルダ部と第２ホルダ部とを締結するようにしたので、試験片ホルダの耐圧性及びシール性を良好なものとすることができる。よって、広範な流体の流動条件に対応可能な試験片ホルダを得ることができる。

【００１３】
（４）幾つかの実施形態では、上記（３）の構成において、
前記締結部は、
前記第１ホルダ部および前記第２ホルダ部の各々に設けられたボルト孔に挿通されるボルトと、
前記ボルトに螺合されるナットと、
を含む。
【００１４】
上記（４）の構成によれば、ボルトとナットを含む簡素な構成で、上記（３）で述べたように、試験片ホルダの耐圧性及びシール性を良好なものとし、広範な流体の流動条件に対応可能な試験片ホルダを得ることができる。
【００１５】
（５）幾つかの実施形態では、上記（１）乃至（４）の何れかの構成において、
前記第１ホルダ部には、前記管軸方向における端面に、前記第１シール部材を受け入れるための凹部が設けられる。
【００１６】
上記（５）の構成によれば、第１ホルダ部の管軸方向における端面に上述の凹部を設けたので、該凹部に第１シール部材を嵌め合わせることで、第１シール部材の第１ホルダ部に対する位置決めが容易になるとともに、第１シール部材によるシール性を高めることができる。
【００１７】
（６）幾つかの実施形態では、上記（５）の構成において、
前記第１シール部材は、前記凹部の底面に接するように設けられる円盤部を含む。
【００１８】
上記（６）の構成によれば、第１シール部材の円盤部が第１ホルダ部の端面に設けた凹部の底面に接するようにしたので、第１シール部材と凹部との接触面積を大きく維持することができ、これにより第１シール部材によるシール性を高めることができる。
【００１９】
（７）幾つかの実施形態では、上記（６）の構成において、
前記第１シール部材は、前記円盤部から、前記管軸方向において前記凹部の前記底面とは反対側に突出する筒形部をさらに含む。
【００２０】
上記（７）の構成によれば、第１シール部材は、円盤部から、管軸方向において凹部の底面とは反対側に突出する筒形部を有するので、筒形部の内径を、管状試験片の外径に応じて設定することで、該管状試験片の、管軸方向に直交する面内における位置決めがしやすくなる。また、筒形部の内径を管状試験片の外径に応じて設定することができるので、１つの試験片ホルダに対し、第１シール部材を適切な内径サイズを有するのものに交換することにより、外径の異なる複数種の管状試験片を試験対象として用いることができる。よって、装置作製コストを低減することができる。
【００２１】
（８）幾つかの実施形態では、上記（１）乃至（７）の何れかの構成において、
前記試験片ホルダは、
前記第１流路または前記第２流路に露出するように前記ホルダ本体に設けられ、電気化学測定装置の対極用端子に接続される対極と、
前記第１流路または前記第２流路に露出するように前記ホルダ本体に設けられ、電気化学測定装置の参照極用端子に接続される参照極と、
をさらに備える。
【００２２】
上記（８）の構成によれば、管状試験片である試料極、上述の対極及び参照極を用いて、３電極法による分極抵抗測定により、管状試験片内面の腐食速度を測定することができ

る。よって、比較的精度良好に、上記腐食速度を測定することができる。
【００２３】
（９）幾つかの実施形態では、上記（１）乃至（８）の何れかの構成において、
前記ホルダ本体は、前記第１ホルダ部および前記第２ホルダ部の間に保持される前記管状試験片とは別の他の管状試験片を保持するための第３ホルダ部を含み、
前記第３ホルダ部は、前記管軸方向において、前記第１ホルダ部又は前記第２ホルダ部の一方に対向して位置し、
前記試験片ホルダは、
前記他の管状試験片の内部流路と連通するように前記第３ホルダ部に設けられる第３流路と、
前記第３ホルダ部と前記他の管状試験片との間をシールするための第３シール部材と、
を備える。
【００２４】
上記（９）の構成によれば、第１ホルダ部及び第２ホルダ部の間に保持される管状試験片、及び、第３ホルダ部によって保持される他の管状試験片を含む２つの管状試験片をそれぞれ試料極として用いて、２電極法による分極抵抗測定により、管状試験片内面の腐食速度を測定することができる。よって、比較的簡易に、上記腐食速度を測定することができる。
【００２５】
（１０）本発明の少なくとも一実施形態に係る伝熱管の洗浄システムは、
ボイラに設けられる複数の伝熱管を洗浄するための洗浄システムであって、
上記（１）乃至（９）の何れか一項に記載の試験片ホルダと、
前記複数の伝熱管に接続され、前記複数の伝熱管を通って洗浄液を循環させるための洗浄液循環ラインと、
前記洗浄液循環ラインから分岐し、前記試験片ホルダの前記第１流路又は前記第２流路に接続される分岐ラインと、
前記分岐ラインを介して前記試験片ホルダに導入される前記洗浄液の温度を調節するための温度調節部と、
前記分岐ラインを介して前記試験片ホルダに導入される前記洗浄液の流量を調節するための流量調節部と、
前記温度調節部及び前記流量調節部を制御するための制御部と、
を備える。
【００２６】
伝熱管の内面に付着したスケールを除去するために、伝熱管を洗浄液で洗浄することがある。この点、上記（１０）の構成によれば、伝熱管を洗浄する洗浄液を、試験片ホルダにて第１流路又は第２流路を介して管状試験片の内部流路に供給可能であるとともに、温度調節部及び流量調節部により、試験片ホルダに導入される洗浄液の温度及び流量を調節可能である。よって、管状試験片の内部流路における洗浄液の流動条件（温度及び流量）を、伝熱管の内面における流動条件に応じて調節することができる。したがって、所望の流動条件下における、管状試験片の内面の分極抵抗を計測し、腐食速度を計測することができる。
【００２７】
（１１）本発明の少なくとも一実施形態に係る腐食量測定方法は、
上記（１）乃至（９）の何れか一項に記載の試験ホルダに前記管状試験片を設置するステップと、
前記第１流路及び前記第２流路を介して、前記管状試験片の前記内部流路に洗浄液を供給して、前記管状試験片を前記洗浄液で洗浄するステップと、
前記洗浄液での洗浄中に、前記管状試験片の分極抵抗を測定するステップと、
前記分極抵抗の測定結果から、前記洗浄中の腐食由来の鉄濃度を算出するステップと、
を備える。

【００２８】
上記（１１）の構成によれば、管状試験片の試験片の洗浄液での洗浄中に、管状試験片の分極抵抗を測定するとともに、分極抵抗の測定結果に基づいて、洗浄中の腐食由来の鉄濃度を算出するようにしたので、管状試験片の表面の腐食状態を適切に把握することができる。
【００２９】
（１２）本発明の少なくとも一実施形態に係る腐食量測定方法は、
試験片のスケール付着量を計測するステップと、
洗浄液での洗浄により前記試験片に付着したスケールの全量が除去されたと仮定した場合の前記洗浄液中の鉄濃度を、前記スケール付着量に基づき予測するステップと、
前記試験片を前記洗浄液で洗浄しながら、前記試験片を用いて分極抵抗を測定し、前記分極抵抗の測定結果から、前記洗浄液中の腐食由来の鉄濃度を算出するステップと、
前記試験片を前記洗浄液で洗浄しながら、前記洗浄液中の全鉄濃度を計測するステップと、
前記全鉄濃度の計測値と、前記腐食由来の鉄濃度の算出値との差分から、前記洗浄液中のスケール由来の鉄濃度を算出するステップと、
を備える。
【００３０】
上記（１２）の方法によれば、試験片のスケール付着量に基づき洗浄液中の鉄濃度を予測するとともに、全鉄濃度の計測値と腐食由来の鉄濃度の算出値との差分から、洗浄中のスケール由来の鉄濃度を算出するようにしたので、上述の鉄濃度の予測値と、スケール由来の鉄濃度算出値との比較により、試験片の洗浄の進行度合いを把握することができる。よって、ボイラにおける化学洗浄の終了タイミングを適切に把握することができる。
【００３１】
（１３）本発明の少なくとも一実施形態に係る腐食量測定装置は、
洗浄液での洗浄により試験片に付着したスケールの全量が除去されたと仮定した場合の前記洗浄液中の鉄濃度を、前記試験片のスケール付着量に基づき予測する予測部と、
前記試験片を前記洗浄液で洗浄しながら、前記試験片を用いて分極抵抗を測定する分極抵抗測定部と、
前記分極抵抗の測定結果から、前記洗浄液中の腐食由来の鉄濃度を算出する第１算出部と、
前記試験片を前記洗浄液で洗浄しながら、前記洗浄液中の全鉄濃度を計測する濃度計測部と、
前記全鉄濃度の計測値と、前記腐食由来の鉄濃度の算出値との差分から、前記洗浄液中のスケール由来の鉄濃度を算出する第２算出部と、
を備える。
【００３２】
上記（１３）の構成によれば、試験片のスケール付着量に基づき洗浄液中の鉄濃度を予測するとともに、全鉄濃度の計測値と腐食由来の鉄濃度の算出値との差分から、洗浄中のスケール由来の鉄濃度を算出するようにしたので、上述の鉄濃度の予測値と、スケール由来の鉄濃度算出値との比較により、試験片の洗浄の進行度合いを把握することができる。よって、ボイラにおける化学洗浄の終了タイミングを適切に把握することができる。
【発明の効果】
【００３３】
本発明の少なくとも一実施形態によれば、管状試験片（金属管）内に液体を流通させながら、管状試験片（金属管）内面の腐食速度を測定可能な試験片ホルダ及び洗浄システム並びに腐食量測定方法及び腐食量測定装置を提供することを目的とする。
【図面の簡単な説明】
【００３４】
【図１】一実施形態に係る洗浄システムの概略図である。

【図２】一実施形態に係る腐食速度測定装置の概略図である。
【図３】一実施形態に係る腐食速度測定装置の概略図である。
【図４】一実施形態に係る腐食速度測定装置の概略図である。
【図５】一実施形態に係る試験片ホルダの概略断面図である。
【図６】一実施形態に係る試験片ホルダの概略断面図である。
【図７】一実施形態に係る腐食量測定方法により得られる洗浄液中の溶解鉄濃度の時間変化を示すグラフの一例である。
【発明を実施するための形態】
【００３５】
以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。
【００３６】
以下の実施形態では、一実施形態に係る洗浄システム又は洗浄方法における洗浄対象物が火力発電装置を構成するボイラの伝熱管である場合について説明するが、本発明における洗浄対象物はこれに限定されず、例えば、舶用ボイラの伝熱管、ボイラの伝熱管以外の部位、熱交換器の伝熱管、又は、化学プラントの構成機器であってもよい。
【００３７】
図１は、幾つかの実施形態に係る試験片ホルダが適用される洗浄システムの概略図である。図１に示す洗浄システム１は、ボイラ１００の火炉１０２を構成する複数の伝熱管１０４を洗浄するように構成されている。
【００３８】
図１に示すボイラ１００は、循環ライン１０６上に配置される火炉１０２、汽水分離器１１０、及び、図示しない節炭器、過熱器等を含む。火炉１０２の伝熱管１０４には、循環ライン１０６を介して給水が供給されるようになっている。火炉１０２の伝熱管１０４において、燃料の燃焼熱との熱交換により生成された蒸気は、汽水分離器１１０、過熱器（不図示）を経由してタービン（不図示）に供給されてタービンロータを回転駆動する。タービンで仕事を終えた蒸気は復水器（不図示）で凝縮されて水となる。復水器で生成された水は、循環ライン１０６に設けられた加熱器、脱気器、及び、節炭器等（何れも不図示）を通って、再び火炉１０２に供給される。循環ライン１０６には、蒸気又は水を圧送するためのポンプ（不図示）が設けられていてもよい。
【００３９】
ボイラ１００の火炉１０２を構成する伝熱管１０４の内部には、鉄酸化物を主体とするスケールが付着して伝熱管の熱伝導率が低下する場合がある。図１に示す洗浄システム１は、このように伝熱管１０４の内面に付着したスケールを、洗浄液を用いて除去するための洗浄システムである。
【００４０】
図１に示す洗浄システム１は、循環ライン１０６に接続される洗浄液循環ライン２と、洗浄液循環ライン２に設けられ、洗浄液を循環させるための循環ポンプ４と、を含む。洗浄液循環ライン２の上流端は、循環ライン１０６における汽水分離器１１０の下流側に位置する第１接続点１０５に接続されており、洗浄液循環ライン２の下流端は、循環ライン１０６における火炉１０２の上流側に位置する第２接続点１０８に接続されている。すなわち、洗浄液循環ライン２は、循環ライン１０６を介して、複数の伝熱管１０４に接続されている。
【００４１】
また、洗浄システム１は、洗浄液を貯留するための洗浄液タンク８と、洗浄液タンク８からの洗浄液を洗浄液循環ライン２に供給するための洗浄液供給ライン６と、洗浄液供給ライン６に設けられる注入ポンプ１０と、を含む。洗浄液タンク８に貯留された洗浄液が、注入ポンプ１０により、洗浄液供給ライン６を介して洗浄液循環ライン２に供給されるようになっている。

【００４２】
スケールの洗浄に用いる洗浄液（すなわち、洗浄液タンク８に貯留される洗浄液）の種類は、主として酸化鉄を含むスケールを溶解可能な薬剤であればよく、特に限定されない。このような洗浄液は、例えば、塩酸等の酸を含む洗浄液であってもよく、あるいは、キレート剤又は還元剤又は腐食抑制剤を含む洗浄液であってもよい。
【００４３】
上述のキレート剤は、例えばＥＤＴＡ、ＢＡＰＴＡ、ＤＯＴＡ、ＥＤＤＳ、ＩＮＮ、ＮＴＡ、ＤＴＰＡ、ＨＥＤＴＡ、ＴＴＨＡ、ＰＤＴＡ、ＤＰＴＡ-ＯＨ、ＨＩＤＡ、ＤＨＥＧ、ＧＥＤＴＡ、ＣＭＧＡ、ＥＤＤＳなどのアミノカルボン酸やこれらの塩などのアミノカルボン酸系キレート剤、クエン酸、グルコン酸、ヒドロキシ酢酸などのオキシカルボン酸やこれらの塩などのオキシカルボン酸系キレート剤、ＡＴＭＰ、ＨＥＤＰ、ＮＴＭＰ、ＰＢＴＣ、ＥＤＴＭＰ等の有機リン酸やこれらの塩などの有機リン系キレート剤であってもよい。
【００４４】
上述の還元剤は、例えば、$Fe^{2+}$、$Sn^{2+}$などの各種金属イオン、亜硫酸ナトリウムなどの亜硫酸塩、次亜硫酸塩、シュウ酸、蟻酸、アスコルビン酸、エルソルビン酸、ピロガロール、チオ尿素系化合物、二酸化チオ尿素系化合物、チオグリコール酸塩などの有機化合物、ヒドラジン、水素などであってもよい。
【００４５】
上述の腐食抑制剤は、例えば、両性界面活性剤、非イオン界面活性剤、カチオン型界面活性剤、硫黄系化合物などの吸着性皮膜を形成する腐食抑制剤や沈殿皮膜型の腐食抑制剤、錯塩皮膜形成型の腐食抑制剤などであってもよい。
【００４６】
上述した構成により、洗浄液タンク８からの洗浄液は、循環ポンプ４によって圧送されて、洗浄液循環ライン２、第２接続点１０８よりも下流側かつ火炉１０２よりも上流側の循環ライン１０６、複数の伝熱管１０４（火炉１０２）、及び、火炉１０２よりも下流側かつ第１接続点１０５よりも上流側の循環ライン１０６、を通って循環するようになっている。なお、このように洗浄液を循環させる際には、循環ライン１０６において、第１接続点１０５の下流側に設けられたバルブ１０９及び第２接続点１０８の上流側に設けられたバルブ１０７は閉止され、循環ライン１０６を循環する水及び蒸気の流れは停止される。
【００４７】
洗浄システム１は、洗浄液循環ライン２から分岐する分岐ライン１２と、分岐ライン１２に設けられる腐食速度測定装置３０と、分岐ライン１２を介して腐食速度測定装置３０に導入される洗浄液の温度及び流量をそれぞれ調節するための温度調節部及び流量調節部と、をさらに備えている。
【００４８】
分岐ライン１２の上流端１１及び下流端１３は、それぞれ、洗浄液循環ライン２に接続されている。分岐ライン１２にはポンプ１４が設けられており、該ポンプ１４によって、洗浄液循環ライン２からの洗浄液が、分岐ライン１２に引き込まれるようになっている。
【００４９】
腐食速度測定装置３０は、管状試験片の腐食速度を測定するための装置であり、管状試験片を保持するための試験片ホルダ３２と、試験片ホルダ３２に接続される電気化学測定装置９０と、を含む（図２参照）。この管状試験片として、火炉１０２を構成する複数の伝熱管１０４のうち１本から採取したものを用いることができる。伝熱管１０４の化学洗浄を行う際に伝熱管１０４から管状試験片を採取する場合、管状試験片の内面には、通常、内面にスケールが付着している。
【００５０】
試験片ホルダ３２は、分岐ライン１２にそれぞれ接続される洗浄液入口部５８及び洗浄液出口部６０を有している。洗浄液循環ライン２から分岐ライン１２に引き込まれた洗浄液は、洗浄液入口部５８を介して試験片ホルダ３２に導入され、試験片ホルダ３２に設置

された管状試験片の内部流路を通過した後、洗浄液出口部６０を介して分岐ライン１２に排出される。分岐ライン１２に排出された洗浄液は、分岐ライン１２の下流端１３を介して、洗浄液循環ライン２に返送されるようになっている。なお、試験片ホルダ３２を含む腐食速度測定装置３０の構成については後述する。

【００５１】

図１に示す例示的な実施形態では、試験片ホルダ３２に導入される洗浄液の温度を調節するための温度調節部は、分岐ライン１２に設けられ、電気抵抗で発生する熱により洗浄液を加熱するように構成されたヒータ１６である。他の実施形態では、該温度調節部は、熱媒体との熱交換により洗浄液を過熱するように構成された熱交換器であってもよい。

【００５２】

また、図１に示す例示的な実施形態では、試験片ホルダ３２に導入される洗浄液の流量を調節するための流量調節部は、分岐ライン１２に設けられた上述のポンプ１４である。ポンプ１４は、回転数を変更することにより吐出圧を調節可能に構成されており、すなわち、吐出側における洗浄液の流量を調節可能に構成されている。

【００５３】

洗浄システム１は、制御装置２０（制御部）と、複数の伝熱管１０４における洗浄液の温度及び流量を取得するための流量計２１及び温度センサ２２と、試験片ホルダ３２における洗浄液の温度及び流量を取得するための流量計２３及び温度センサ２４と、をさらに備えている。

【００５４】

図１に示す例示的な実施形態では、流量計２１及び温度センサ２２は、火炉１０２よりも下流側における循環ライン１０６に設けられている。

【００５５】

複数の伝熱管１０４を流れる洗浄液は、伝熱管１０４の下流側で合流するので、該流量計２１で計測される洗浄液の流量は、複数の伝熱管１０４の各々における流量の合計値とみなすことができる。よって、流量計２１で計測された流量を、伝熱管１０４の本数で除算することにより、伝熱管１０４一本当たりの流量（あるいは複数の伝熱管１０４の各々における流量の平均）を算出することができる。

【００５６】

また、複数の伝熱管１０４から循環ライン１０６に流出した洗浄液の温度は急激には変化しないので、温度センサ２２による温度の計測値を、伝熱管１０４の出口における洗浄液の温度とみなすことができる。

【００５７】

制御装置２０は、流量計２１，２３及び温度センサ２２，２４から受け取る信号に基づいて、ヒータ１６（温度調節部）の出力、及び、ポンプ１４（流量調節部）の回転数（より具体的には、ポンプ１４を駆動するモータ駆動用のインバータの周波数）を制御するように構成されている。したがって、制御装置２０を用いて、試験片ホルダ３２に供給される洗浄液の温度及び流量を調節することができる。

【００５８】

図２～図４は、それぞれ、一実施形態に係る腐食速度測定装置３０の概略図である。図５～図６は、それぞれ、一実施形態に係る試験片ホルダ３２の概略断面図である。なお、図６に示す第１シール部材４６及び第２シール部材４８は、図２～図４に示す第１シール部材４６及び第２シール部材４８と同一形状を有している。

【００５９】

図２～図４に示すように腐食速度測定装置３０は、管状試験片２００を保持するための試験片ホルダ３２と、試験片ホルダ３２に設けられる電極（試料電極、対極、及び参照極）に接続される端子を有する電気化学測定装置９０と、を含む。

【００６０】

図２～図４に示すように、試験片ホルダ３２は、第１ホルダ部３６及び第２ホルダ部３８を含むホルダ本体３４と、第１ホルダ部３６に設けられる第１流路４０と、第２ホルダ

部３８に設けられる第２流路４２と、第１シール部材４６及び第２シール部材４８と、を備えている。また、試験片ホルダ３２は、第１ホルダ部３６と第２ホルダ部３８とを締結するための締結部５０と、管状試験片２００の外周面に設けられる導電部５６と、を備えている。

【００６１】

第１ホルダ部３６及び第２ホルダ部３８は、管状試験片２００の管軸方向において管状試験片２００を両側から挟んで保持するように構成されている。第１ホルダ部３６及び第２ホルダ部３８を含むホルダ本体３４は、樹脂等の絶縁材料で形成されていてもよい。

【００６２】

図５及び図６に示すように、管状試験片２００は、外周面２０２及び内周面２０４を有しており、内周面２０４によって、管状試験片２００の内部流路２０１が形成されている。

図２～図４に示すように、第１流路４０は、管状試験片２００の内部流路２０１に連通可能に第１ホルダ部３６に設けられている。また、第２流路４２は、管状試験片２００の内部流路２０１に連通可能に第２ホルダ部３８に設けられている。図示する実施形態において、第１流路４０及び第２流路は、管状試験片２００の管軸方向に沿って設けられいる。

【００６３】

管軸方向におけるホルダ本体３４の両端部には、洗浄液入口部５８及び洗浄液出口部６０が設けられている。洗浄液入口部５８は、分岐ライン１２（図１参照）と第２流路４２とを接続するジョイント部５９を含む。洗浄液出口部６０は、分岐ライン１２と第１流路４０とを接続するジョイント部６１を含む。なお、図示する実施形態においては、第１ホルダ部３６側に洗浄液出口部６０が設けられ、第２ホルダ部３８側に洗浄液入口部５８が設けられているが、他の実施形態は、第１ホルダ部３６側に洗浄液入口部５８が設けられ、第２ホルダ部３８側に洗浄液出口部６０が設けられていてもよい。

【００６４】

第１シール部材４６は、第１ホルダ部３６と管状試験片２００との間を介した洗浄液の漏れを抑制するように構成されている。第２シール部材４８は、第２ホルダ部３８と管状試験片２００との間を介した洗浄液の漏れを抑制するように構成されている。

【００６５】

上述の実施形態では、管状試験片２００を、シール部材４６，４８を介して、第１ホルダ部３６及び第２ホルダ部３８で挟んで保持するとともに、管状試験片２００の内部流路２０１と連通可能な第１流路４０及び第２流路４２を設けたので、第１流路４０及び第２流路４２を介して、管状試験片２００の内部流路２０１に流体（洗浄液等）を流通させることができる。これにより、管状試験片２００の内部流路２０１に液体を流通させながら、各種測定（例えば電気化学測定）が可能となり、管状試験片２００の内面の腐食速度を測定することができる。

【００６６】

締結部５０は、管状試験片２００を第１ホルダ部３６と第２ホルダ部３８との間に挟んだ状態で、第１ホルダ部３６と第２ホルダ部３８とを締結するように構成される。これにより、試験片ホルダ３２の耐圧性及びシール性を良好なものとすることができる。よって、広範な流体の流動条件に対応可能な試験片ホルダ３２を得ることができる。

【００６７】

図２～図４に示す例示的な実施形態では、締結部５０は、第１ホルダ部３６に設けられたボルト孔３７、及び、第２ホルダ部３８に設けられたボルト孔３９に挿通されるボルト５２と、ボルト５２に螺合されるナット５４と、を含む。この場合、ボルト５２とナット５４とを含む簡素な構成で、試験片ホルダ３２の耐圧性及びシール性を良好なものとすることができる。

【００６８】

幾つかの実施形態では、例えば図５～図６に示すように、第１ホルダ部３６には、管軸方向における端面３６ａに、第１シール部材４６を受け入れるための凹部６２が設けられる。凹部６２は、第１シール部材４６の断面形状に対応する形状を有している。また、幾

つかの実施形態では、例えば図５～図６に示すように、第２ホルダ部３８には、管軸方向における端面３８ａに、第２シール部材４８を受け入れるための凹部６４が設けられる。凹部６４は、第２シール部材４８の断面形状に対応する形状を有している。

【００６９】

このように、第１ホルダ部３６の管軸方向における端面３６ａに上述の凹部６２を設けたので、該凹部６２に第１シール部材４６を嵌め合わせることで、第１シール部材４６の第１ホルダ部３６に対する位置決めが容易になるとともに、第１シール部材４６によるシール性を高めることができる。第２ホルダ部３８に設けた凹部６４についても、同様の説明が当てはまる。

【００７０】

幾つかの実施形態では、例えば図５～図６に示すように、第１シール部材４６は、凹部６２の底面６２ａに接するように設けられる円盤部１２０を含む。円盤部１２０は、管軸方向において、凹部６２の底面６２ａと、管状試験片２００の一方の端面２０６とに挟まれるように設けられている。なお、円盤部１２０の中央部に貫通孔１２４が設けられており、該貫通孔１２４を介して、管状試験片２００の内部流路２０１と、第１流路４０とが互いに連通可能となっている。

【００７１】

幾つかの実施形態では、例えば図５～図６に示すように、第２シール部材４８は、凹部６４の底面６２ａに接するように設けられる円盤部１２６を含む。円盤部１２６は、管軸方向において、凹部６４の底面６４ａと、管状試験片２００の他方の端面２０８とに挟まれるように設けられている。なお、円盤部１２６の中央部に貫通孔１３０が設けられており、該貫通孔１３０を介して、管状試験片２００の内部流路２０１と、第２流路４２とが互いに連通可能となっている。

【００７２】

上述したように、第１シール部材４６の円盤部１２０が第１ホルダ部３６の端面３６ａに設けた凹部６２の底面６２ａに接するようにしたので、第１シール部材４６と凹部６２との接触面積を大きく維持することができ、これにより第１シール部材４６によるシール性を高めることができる。第２シール部材４８についても、同様の説明が当てはまる。

【００７３】

幾つかの実施形態では、例えば図６に示すように、第１シール部材４６は、円盤部１２０から、管軸方向において凹部６２の底面６２ａとは反対側に突出する筒形部１２２をさらに含む。また、幾つかの実施形態では、第２シール部材４８は、円盤部１２６から、管軸方向において凹部６４の底面６４ａとは反対側に突出する筒形部１２８をさらに含む。

【００７４】

上述の実施形態によれば、第１シール部材４６は、円盤部１２０から、管軸方向において凹部６２の底面６２ａとは反対側に突出する筒形部１２２を有するので、筒形部１２２の内径を、管状試験片２００の外径Ｄ２（図６参照）に応じて設定することで、該管状試験片２００の、管軸方向に直交する面内における位置決めがしやすくなる。また、筒形部１２２の内径を管状試験片２００の外径Ｄ２に応じて設定することができるので、１つの試験片ホルダ３２に対し、第１シール部材４６を適切な内径サイズを有するのものに交換することにより、外径の異なる複数種の管状試験片２００を試験対象として用いることができる。第２シール部材４８についても、同様の説明が当てはまる。

【００７５】

なお、図５に示す第１シール部材４６と、図６に示す第２シール部材４８とを、同一の試験片ホルダ３２にて交換して使用可能することもできる。図５に示す第１シール部材４６は、筒形部１２２を有さないため、管状試験片２００の外形Ｄ１が比較的大きい場合にも使用することができる。なお、図５における管状試験片２００の外形Ｄ１は、図６における管状試験片２００の外形Ｄ２よりも大きい。

【００７６】

導電部５６（図２～図４参照）は、管状試験片２００の外表面を電気化学測定装置９０

の試料極用端子９６に接続するためのものでさる。導電部５６は、第１ホルダ部３６と第２ホルダ部３８との間において、管状試験片２００の外表面に接するように設けられている。また、導電部５６は、管状試験片２００と電気的に接続可能になっている。導電部５６と電気化学測定装置９０の試料極用端子９６とは、リード線を介して接続されていてもよい。

【００７７】

このように、第１ホルダ部３６と第２ホルダ部３８との間に管状試験片２００の外表面と電気的に接続される導電部５６を設けたので、該導電部５６を介して、電気化学測定装置９０の試料極用端子９６に、管状試験片２００を接続することができる。よって、これにより、管状試験片２００の内部流路２０１に液体を流通させながら管状試験片２００についての電気化学測定（例えば管状試験片２００の内面の分極抵抗の計測）が可能となり、この測定結果に基づいて、管状試験片２００の内面の腐食速度を測定することができる。

【００７８】

幾つかの実施形態では、導電部５６は、管状試験片２００を挟持するように設けられる金属製のクランプを含んでいてもよい。あるいは、幾つかの実施形態では、導電部５６は、リード線の端部を管状試験片２００の外表面に固定するために設けられる溶接部であってもよい。溶接部は、スポット溶接により形成されたものであってもよい。なお、図５及び図６において、導電部５６の図示を省略している。

【００７９】

幾つかの実施形態では、例えば図２及び図４に示すように、試験片ホルダ３２は、電気化学測定装置９０の対極用端子９２に接続される対極６６と、電気化学測定装置９０の参照極用端子９４に接続される参照極７２と、をさらに備えている。対極６６は、第１流路４０または第２流路４２に露出するようにホルダ本体３４に設けられていてもよい。参照極７２は、第１流路４０または第２流路４２に露出するようにホルダ本体３４に設けられていてもよい。対極６６は、白金電極であってもよい。

【００８０】

なお、図２及び図４に示す例示的な実施形態では、対極６６及び参照極７２は、第１流路４０に露出するように、第１ホルダ部３６（ホルダ本体３４）に設けられている。より具体的には、対極６６は、第１ホルダ部３６において、第１ホルダ部３６の側面と、第１流路４０とを接続するように設けられた孔６８に挿入され、第１流路４０に露出した状態で、固定部８０を介して第１ホルダ部３６に支持されている。また、参照極７２は、第１ホルダ部３６において、第１ホルダ部３６の側面と、第１流路４０とを接続するように設けられた孔７４に挿入され、第１流路４０に露出した状態で、固定部８０を介して第１ホルダ部３６に支持されている。

【００８１】

上述の実施形態によれば、管状試験片２００である試料極、対極６６及び参照極７２を用いて、３電極法による分極抵抗測定により、管状試験片２００の内面の腐食速度を測定することができる。よって、比較的精度良好に、上述の腐食速度を測定することができる。

【００８２】

幾つかの実施形態では、例えば図３及び図４に示すように、ホルダ本体３４は、第１ホルダ部３６および第２ホルダ部３８の間に保持される管状試験片２００とは別の他の管状試験片２１０を保持するための第３ホルダ部１４４を含む。第３ホルダ部１４４は、管軸方向において、第１ホルダ部３６又は第２ホルダ部３８の一方（図３及び図４では第２ホルダ部３８）に対向して位置するように設けられる。そして、試験片ホルダ３２は、管状試験片２１０の内部流路２１１と連通可能に第３ホルダ部１４４に設けられる第３流路１４６と、第３ホルダ部１４４と管状試験片２１０との間をシールするための第３シール部材１１２と、を備えている。管状試験片２１０の外周面には、導電部１１６が設けられており、導電部１１６を介して、管状試験片２１０と、電気化学測定装置９０の試料極用端子９８とが接続されている。

【００８３】

上述の実施形態によれば、第１ホルダ部３６及び第２ホルダ部３８の間に保持される管状試験片２００、及び、第３ホルダ部１４４によって保持される他の管状試験片２１０を含む２つの管状試験片２００，２１０をそれぞれ試料極として用いて、２電極法による分極抵抗測定により、管状試験片２００，２１０の内面の腐食速度を測定することができる。よって、比較的簡易な構成で、上記腐食速度を測定することができる。

【００８４】

なお、図３及び図４に示す例示的な実施形態は、以下に説明する特徴を有している。

【００８５】

第３シール部材１１２は、第３ホルダ部１４４の管軸方向における端面に設けられた凹部１１４に設けられている。また、第２ホルダ部３８と管状試験片２１０との間をシールするためのシール部材１４８が設けられている。シール部材１４８は、第２ホルダ部３８の管軸方向における端面に設けられた凹部１４０に設けられている。第３流路１４６、管状試験片２１０の管軸方向に沿って延びている。２つの管状試験片２００，２１０は、ほぼ同軸上に配置されており、第１流路４０、管状試験片２００の内部流路２０１、第２流路４２、管状試験片２１０の内部流路２１１、及び、第３流路１４６は、管軸方向に沿って延びる１本の流路を形成している。

【００８６】

図３及び図４に示す例示的な実施形態では、締結部５０は、管状試験片２００を第１ホルダ部３６と第２ホルダ部３８との間に挟み、かつ、管状試験片２１０を第２ホルダ部３８と第３ホルダ部１４４との間に挟んだ状態で、第１ホルダ部３６、第２ホルダ部３８、及び、第３ホルダ部１４４を締結するように構成されている。締結部５０のボルト５２は、第１ホルダ部３６に設けられたボルト孔３７、第２ホルダ部３８に設けられたボルト孔３９、及び、第３ホルダ部１４４に設けられたボルト孔１４５に挿通され、該ボルト５２にナット５４が螺合されている。なお、第３ホルダ部１４４は、樹脂等の絶縁材料で形成されていてもよい。

【００８７】

図４に示す例示的な実施形態では、２つの試料極（管状試験片２００又は管状試験片２１０）のうちの一方と、対極６６及び参照極７２を用いて、３電極法による分極抵抗測定を行うことができる。よって、２つの試料極（管状試験片２００又は管状試験片２１０）のうち一方を用いて測定を行うとともに、この一方の試料極に不具合が発生した場合には、他方の試料極を用いて、分極抵抗の計測を続行することができる。

【００８８】

また、図４に示す実施形態では、上述の３電極法により分極抵抗測定ができるとともに、２つの試料極（管状試験片２００及び管状試験片２１０）を用いて２電極法による分極抵抗測定を行うこともできる。よって、参照極７２や対極６６に異常が生じた場合に２電極法での計測に切かえるなど、３電極法と２電極法とで測定方法を切替えて分極抵抗測定を続行することができる。

【００８９】

このように、図４に示す実施形態によれば、測定装置の可用性を向上させることができる。

【００９０】

以下、図１及び図７を参照して、一実施形態に係る腐食量測定方法について説明する。図７は、一実施形態に係る腐食量測定方法により得られる洗浄液中の溶解鉄濃度の時間変化を示すグラフの一例である。なお、以下においては、ボイラ１００の伝熱管１０４から採取した管状試験片の化学洗浄時における腐食量測定方法について説明する。

【００９１】

まず、運転停止したボイラ１００に設けられている複数の伝熱管１０４から、試験片として用いる伝熱管を採取して、該伝熱管から管状試験片２００を作製する。また、作製した管状試験片２００を、試験片ホルダ３２に設置する。なお、上述のようにして得られる管状試験片２００の内面には、通常、ボイラ１００の運転中に生じたスケールが付着して

いる。

【００９２】

次に、洗浄液循環ライン２を、循環ライン１０６を介して、ボイラ１００の複数の伝熱管１０４に接続し、洗浄液循環ライン２に洗浄液タンク８からの洗浄液を循環させて、複数の伝熱管１０４の洗浄を行う。

【００９３】

また、洗浄液循環ライン２に分岐ライン１２を接続し、洗浄液循環ライン２から分岐させた洗浄液を、洗浄液入口部５８及び洗浄液出口部６０を介して、試験片ホルダ３２（腐食速度測定装置３０）の第２流路４２、管状試験片２００の内部流路２０１、及び第１流路４０に流通させる。そして、腐食速度測定装置３０を用いて管状試験片２００の分極抵抗を測定し、分極抵抗の測定結果から、洗浄中の腐食由来の鉄濃度を算出する。

【００９４】

ここで、分極抵抗の測定結果から、洗浄中の腐食由来の鉄濃度を算出する手順について説明する。

まず、下記式（Ａ）より、分極抵抗の測定結果$R_p$に基づき、腐食電流密度$i_{corr}$が算出できる。

$$i_{corr}=B/R_p \quad \cdots(A)$$

上記式（Ａ）中のＢは定数である。

次に、上記式（Ａ）での計算結果と、下記式（Ｂ）とから、管状試験片における母材の腐食減量Δｍ（ｇ／ｃｍ$^2$）が算出できる。

$$i_{corr}\times t=F\times\Delta m\times z/M \quad \cdots(B)$$

上記式（Ｂ）中のｔは、分極抵抗の測定時間（ｓ）であり、Ｆはファラデー定数でありｚは鉄イオンの価数（２）であり、Ｍは鉄の原子量（５５．８４５）である。

そして、上記式（Ｂ）での計算結果と、下記式（Ｃ）とから、母材腐食由来の鉄濃度$C_{Fe}$を算出することができる。

$$C_{Fe}=\Delta m\times A/W \quad \cdots(C)$$

上記式（Ｃ）中のＡは化学洗浄対象の複数の伝熱管１０４の内表面性の合計であり、Ｗは、伝熱管１０４における洗浄液保有水量である。

【００９５】

なお、実際には、上述の装置で測定する分極抵抗$R_p$は経時的に変化するため、微小期間Δｔ間の分極抵抗値から算出される鉄濃度$C_{Fe}$を時間積分することで、腐食由来の鉄濃度$C_{Fe}$を求めることができる。

【００９６】

なお、試験片ホルダ３２内の流路内において、実際の伝熱管１０４の内部における流動状態を再現できていれば、試験片ホルダ３２を用いて測定した分極抵抗の値に基づいて、伝熱管１０４における洗浄液中の母材腐食由来の鉄濃度$C_{Fe}$を精度良く計算することができる。

【００９７】

幾つかの実施形態では、さらに、以下のステップを行い、実際のボイラ１００における伝熱管１０４の洗浄条件（洗浄液の温度及び流量）を、試験片ホルダ３２（腐食速度測定装置３０）において再現するようにしてもよい。

【００９８】

幾つかの実施形態では、複数の伝熱管１０４の洗浄中に、流量計２１及び温度センサ２２を用いて、複数の伝熱管１０４における洗浄液の流量Ｆ１及び温度Ｔ１を計測する。この流量Ｆ１及び温度Ｔ１に係る計測結果は、制御装置２０に送られる。

【００９９】

また、流量計２３及び温度センサ２４を用いて、試験片ホルダ３２における管状試験片２００の内部流路２０１における洗浄液の流量Ｆ２及び温度Ｔ２を計測する。この流量Ｆ２及び温度Ｔ２に係る計測結果は、制御装置２０に送られる。

【０１００】

制御装置２０は、取得した流量Ｆ１、Ｆ２、及び、温度Ｔ１，Ｔ２の計測結果に基づいて、試験片ホルダ３２における管状試験片２００の内部流路２０１を流れる洗浄液の流量及び温度が、複数の伝熱管１０４における流量及び温度に近づくように、ポンプ１４（流量調節部）の回転数、及び、ヒータ１６（温度調節部）の出力の制御を行う。

【０１０１】

制御装置２０は上述の計測結果に基づいて、試験片ホルダ３２における管状試験片２００の内部流路２０１を流れる洗浄液の流量及び温度に関してフィードバック制御（例えば、Ｐ制御、ＰＩ制御又はＰＩＤ制御）を行ってもよい。

【０１０２】

例えば、制御装置２０は、伝熱管１０４における洗浄液の流量Ｆ１を目標値とし、試験片ホルダ３２における管状試験片２００の内部流路２０１を流れる洗浄液の流量の実測値Ｆ２と上述の目標値Ｆ１との偏差に基づいて、該偏差が小さくなるようなポンプ１４の回転数及び／又はこれに対応するインバータ周波数を算出し、算出したインバータ周波数を制御指令値として、インバータに与えるようになっていてもよい。

【０１０３】

あるいは、制御装置２０は伝熱管１０４における洗浄液の温度Ｔ１を目標値とし、試験片ホルダ３２における管状試験片２００の内部流路２０１を流れる洗浄液の温度の実測値Ｔ２と上述の目標値Ｔ１との偏差に基づいて、該偏差が小さくなるようなヒータ１６の出力を算出し、算出した出力値を制御指令値としてヒータ１６に与えるようになっていてもよい。

【０１０４】

上述の実施形態に係る方法によれば、腐食速度測定装置３０に導入される洗浄液の温度Ｔ２及び流量Ｆ２が、ボイラ１００の伝熱管１０４における流量Ｆ１及び温度Ｔ２に近づくように、流量調節部及び温度調節部を制御するようにしたので、腐食速度測定装置３０内において、ボイラ１００の伝熱管１０４の洗浄状態をより詳細に模擬することができる。よって、腐食速度測定装置３０を用いて、伝熱管１０４における洗浄液中の鉄濃度$C_{Fe}$を精度良く計算することができる。

【０１０５】

幾つかの実施形態に係る腐食量測定方法では、まず、スケールの付着した試験片（伝熱管１０４から採取した管状試験片２００等）のスケール付着量（重量）を計測し、この計測結果に基づいて、洗浄液での洗浄により試験片に付着したスケールの全量が除去されたと仮定した場合の洗浄液中の鉄濃度（スケール由来の鉄濃度$C_S$）の予測値$C_{s_est}$（図７参照）を取得する。

【０１０６】

次に、例えば上述の腐食速度測定装置３０を用いて、試験片を洗浄液で洗浄しながら、該試験片を用いて分極抵抗を測定し、分極抵抗の測定結果から、洗浄液中の母材腐食由来の鉄濃度$C_{Fe}$を算出する。分極抵抗に基づいて母材腐食由来の鉄濃度$C_{Fe}$を算出する手順は、既に述べたとおりである。

【０１０７】

また、試験片を洗浄液で洗浄しながら、洗浄液中の全鉄濃度$C_T$を計測する。すなわち、試験片を洗浄中の洗浄液を例えば所定時間ごとにサンプリングして、各種分析方法により、サンプル洗浄液に含まれる全鉄濃度$C_T$を計測する。

【０１０８】

そして、このようにして求めた全鉄濃度$C_T$の計測値と、母材腐食由来の鉄濃度$C_{Fe}$の算出値との差分から、スケール由来の鉄濃度$C_S$を算出する。すなわち、スケール由来の鉄濃度Ｃｓは、下記式（Ｄ）で表現できる。

$$C_S = C_T - C_{Fe} \quad \cdots (D)$$

【０１０９】

したがって、このように算出されたスケール由来の鉄濃度Ｃｓと、予め予測された予測値$C_{s_est}$との比較により、試験片の洗浄の進行度合いを把握することができる

すなわち、図７に示すように、洗浄が進むにつれてスケール由来の鉄濃度Ｃｓは徐々に増加するが、スケール由来の鉄濃度Ｃｓが予測値Ｃｓ＿ｅｓｔに十分近づけば、試験片に付着していたスケールがほぼ除去されたことを意味する。したがって、試験片あるいは伝熱管１０４の化学洗浄の終了タイミングを適時に判定することができる。

【０１１０】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

【０１１１】

本明細書において、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

また、本明細書において、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

また、本明細書において、一の構成要素を「備える」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

【符号の説明】

【０１１２】

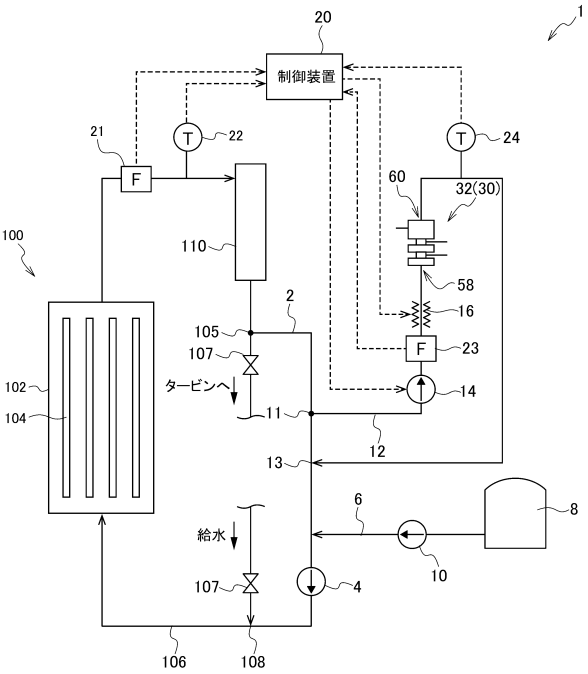
１　洗浄システム
２　洗浄液循環ライン
４　循環ポンプ
６　洗浄液供給ライン
８　洗浄液タンク
１０　注入ポンプ
１１　上流端
１２　分岐ライン
１３　下流端
１４　ポンプ
１６　ヒータ
２０　制御装置
２１　流量計
２２　温度センサ
２３　流量計
２４　温度センサ
３０　腐食速度測定装置
３２　試験片ホルダ
３４　ホルダ本体
３６　第１ホルダ部
３６ａ　端面
３７　ボルト孔
３８　第２ホルダ部
３８ａ　端面
３９　ボルト孔
４０　第１流路
４２　第２流路

４６　第１シール部材
４８　第２シール部材
５０　締結部
５２　ボルト
５４　ナット
５６　導電部
５８　洗浄液入口部
５９　ジョイント部
６０　洗浄液出口部
６１　ジョイント部
６２　凹部
６２ａ　底面
６４　凹部
６４ａ　底面
６６　対極
６８　孔
７２　参照極
７４　孔
８０　固定部
９０　電気化学測定装置
９２　対極用端子
９４　参照極用端子
９６　試料極用端子
９８　試料極用端子
１００　ボイラ
１０２　火炉
１０４　伝熱管
１０５　第１接続点
１０６　循環ライン
１０７　バルブ
１０８　第２接続点
１０９　バルブ
１１０　汽水分離器
１１２　第３シール部材
１１４　凹部
１１６　導電部
１２０　円盤部
１２２　筒形部
１２４　貫通孔
１２６　円盤部
１２８　筒形部
１３０　貫通孔
１４０　凹部
１４４　第３ホルダ部
１４５　ボルト孔
１４６　第３流路
１４８　シール部材
２００　管状試験片
２０１　内部流路
２０２　外周面

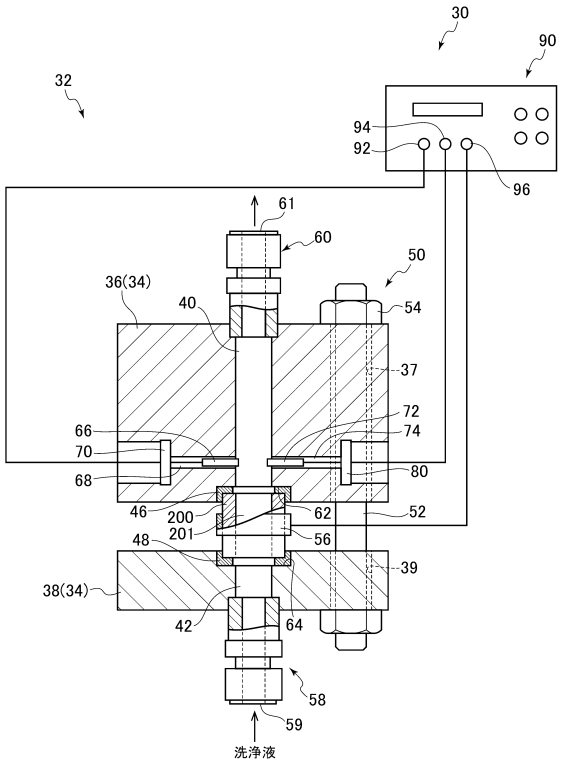
２０４　　内周面
２０６　　端面
２０８　　端面
２１０　　管状試験片
２１１　　内部流路

【図面】

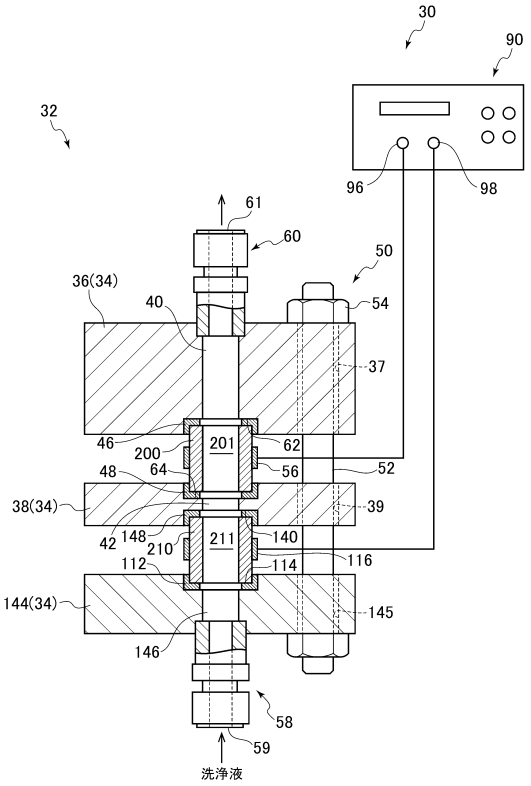
【図１】



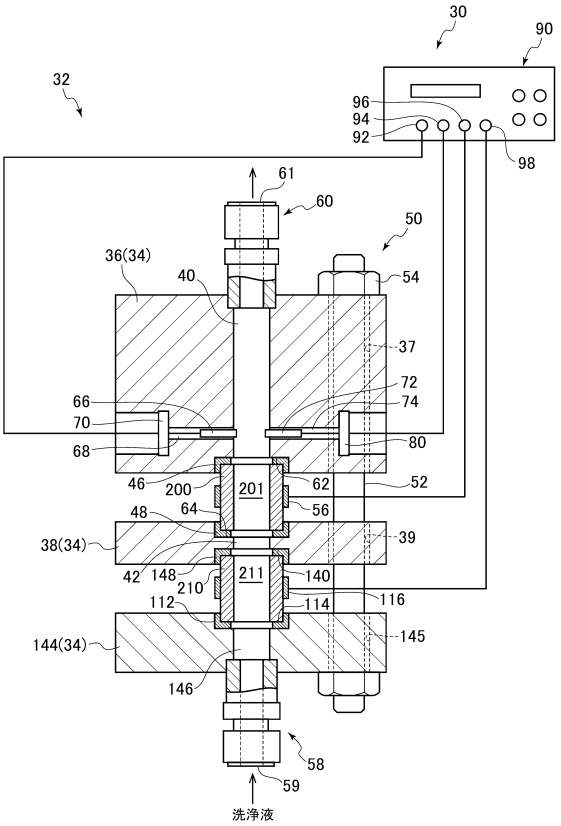

【図２】



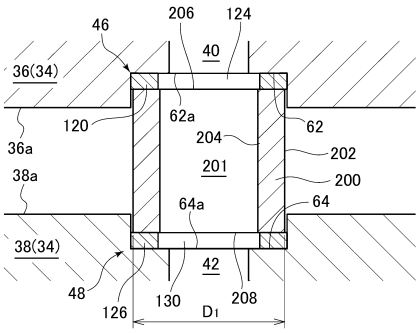
【図３】


30
90
32
96
98
61
60
50
36(34)
40
54
37
46
200
201
62
64
56
52
48
38(34)
39
42
148
210
211
140
112
114
116
144(34)
145
146
58
59
洗浄液

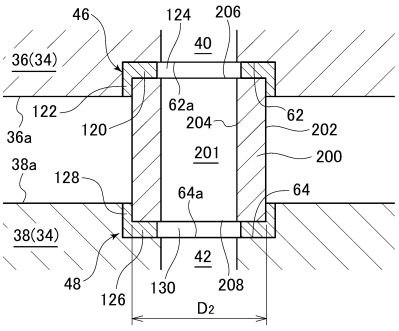
【図４】


30
90
32
96
94
92
98
61
60
50
36(34)
40
54
37
66
70
72
74
68
80
46
200
201
62
52
48
64
56
38(34)
39
42
148
210
211
140
112
114
116
144(34)
145
146
58
59
洗浄液

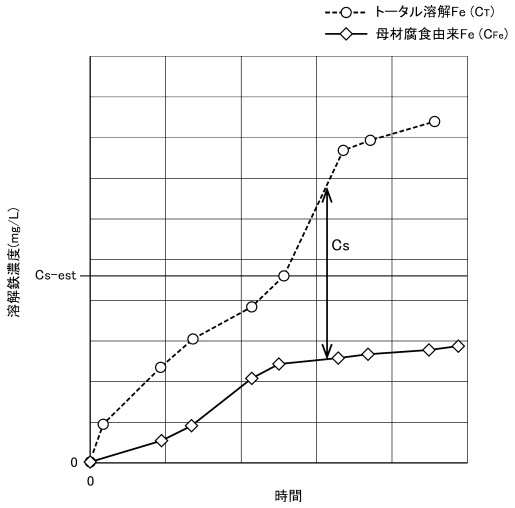
【図５】


46
206
124
40
36(34)
62a
120
62
204
36a
202
201
38a
200
64a
64
38(34)
42
48
126
130
208
D1

【図６】


46
124
206
40
36(34)
62a
122
120
62
204
36a
202
201
38a
200
128
64a
64
38(34)
42
48
126
130
208
D2

【図７】



フロントページの続き

東京都千代田区丸の内三丁目２番３号 三菱重工業株式会社内
(72)発明者 横山 裕
東京都千代田区丸の内三丁目２番３号 三菱重工業株式会社内
審査官 外川 敬之
(56)参考文献 特開２００４－３０１８３６（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０２４４０１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－１７４８５９（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－２１６２３２（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－１４７７９７（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２３６１２１（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ １７／０２
Ｇ０１Ｎ ２７／２６
Ｇ０１Ｎ ２７／００
Ｇ０１Ｎ ２７／０８