

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5592685号
(P5592685)

(45) 発行日 平成26年9月17日(2014.9.17)

(24) 登録日 平成26年8月8日(2014.8.8)

(51) Int.Cl. F 1
F 2 2 B 37/38 (2006.01) F 2 2 B 37/38 E

請求項の数 5 (全 12 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2010-82039 (P2010-82039) | (73) 特許権者 | 000005441 |
| (22) 出願日 | 平成22年3月31日 (2010.3.31) | | バブコック日立株式会社 |
| (65) 公開番号 | 特開2011-214764 (P2011-214764A) | | 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 |
| (43) 公開日 | 平成23年10月27日 (2011.10.27) | (74) 代理人 | 100098017 |
| 審査請求日 | 平成25年3月28日 (2013.3.28) | | 弁理士 吉岡 宏嗣 |
| | | (72) 発明者 | 清水 大 |
| | | | 広島県呉市宝町5番3号 |
| | | | バブコック日立株式 |
| | | | 会社 呉研究所内 |
| | | (72) 発明者 | 仲尾 元六 |
| | | | 広島県呉市宝町5番3号 |
| | | | バブコック日立株式 |
| | | | 会社 呉研究所内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ヘマタイトスケールの付着診断方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

給水に酸素を添加して給水中の Fe を酸化してヘマタイトを生成させ、該ヘマタイトを伝熱管の内壁に付着させて皮膜を形成させるようにした超臨界圧ボイラのヘマタイトスケールの付着厚さを予測するヘマタイトスケールの付着診断方法であって、

前記ヘマタイトスケールの付着厚さと、前記給水中の Fe 濃度と、流体温度と、流体圧力と、を関係付けた以下に示す評価式に基づいて前記ヘマタイトスケールの付着厚さを予測するヘマタイトスケールの付着診断方法。

$$ST = 1.6 \times 10^{-4} \times Fe^2 \times T / \mu \dots (\text{評価式})$$

ST : ヘマタイトスケールの付着厚さ

Fe : 給水中の Fe 濃度

T : 流体温度

μ : 流体温度と流体圧力により決定される粘性係数

【請求項2】

給水に酸素を添加して給水中の Fe を酸化してヘマタイトを生成させ、該ヘマタイトを伝熱管の内壁に付着させて皮膜を形成させるようにした超臨界圧ボイラのヘマタイトスケールの付着厚さを予測するヘマタイトスケールの付着診断方法であって、

前記ヘマタイトスケールの付着厚さと、前記給水中の Fe 濃度と、流体温度と、流体圧力と、を関係付けた以下に示す評価式に基づいて前記ヘマタイトスケールの付着厚さを予測するヘマタイトスケールの付着診断方法。

$$ST = 0.0048 \times Fe^{0.3} \times SD^{-2.0} \times 0.16 \dots (\text{評価式})$$

ST：ヘマトイトスケールの付着厚さ

Fe：給水中のFe濃度

SD：流体温度と流体圧力により決定される超臨界水密度

【請求項3】

給水に酸素を添加して給水中のFeを酸化してヘマトイトを生成させ、該ヘマトイトを伝熱管の内壁に付着させて皮膜を形成させるようにした超臨界圧ボイラのヘマトイトスケールの付着厚さを予測するヘマトイトスケールの付着診断方法であって、

前記ヘマトイトスケールの付着厚さと、前記給水中のFe濃度と、流体温度と、流体圧力と、を関係付けた以下に示す評価式に基づいて前記ヘマトイトスケールの付着厚さを予測するヘマトイトスケールの付着診断方法。

$$ST = 0.0048 \times Fe^{0.3} \times V^{2.0} \times 0.16 \dots (\text{評価式})$$

ST：ヘマトイトスケールの付着厚さ

Fe：給水中のFe濃度

V：流体温度と流体圧力により決定される比容積

【請求項4】

給水に酸素を添加して給水中のFeを酸化してヘマトイトを生成させ、該ヘマトイトを伝熱管の内壁に付着させて皮膜を形成させるようにした超臨界圧ボイラのヘマトイトスケールの付着厚さを予測するヘマトイトスケールの付着診断方法であって、

前記伝熱管の複数の計測部位における前記ヘマトイトスケールの付着厚さの実測データを、前記給水中のFe濃度と前記複数の計測部位における給水の粘性係数に対応させてプロットして評価図を作成し、該評価図に基づいて前記ヘマトイトスケールの付着厚さを予測するヘマトイトスケールの付着診断方法。

【請求項5】

給水に酸素を添加して給水中のFeを酸化してヘマトイトを生成させ、該ヘマトイトを伝熱管の内壁に付着させて皮膜を形成させるようにした超臨界圧ボイラのヘマトイトスケールの付着厚さを予測するヘマトイトスケールの付着診断方法であって、

前記伝熱管の複数の計測部位における前記ヘマトイトスケールの付着厚さの実測データを、前記給水中のFe濃度と前記複数の計測部位における超臨界水密度に対応させてプロットして評価図を作成し、該評価図に基づいて前記ヘマトイトスケールの付着厚さを予測するヘマトイトスケールの付着診断方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ヘマトイトスケールの付着診断方法に係り、特に、超臨界圧ボイラの伝熱管の内壁に付着するヘマトイトスケールの付着厚さを予測する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、超臨界圧ボイラにより水を臨界圧以上の圧力で加熱して沸騰現象がなく連続的に蒸気を発生させ、この蒸気を火力発電所等の蒸気タービンに供給して発電することが知られている。このような超臨界圧ボイラの給水処理として、例えば、給水に酸素を添加して給水中のFeを酸化してヘマトイト(Fe₂O₃)を生成させ、このヘマトイトを伝熱管の内壁に付着させて皮膜を形成させる、所謂、酸素処理が採用されることがある。この酸素処理により形成されたヘマトイトスケールにより、伝熱管の腐食を防止するようにしている。

【0003】

一方、特許文献1には、酸素処理により形成されたヘマトイトスケールの付着量を測定するため、伝熱管と同一材質の電極と腐食しない貴金属の電極とにより形成した電極対を備える容器に、節炭器の入側から分岐して減圧した給水を通流させ、伝熱管と同一材質の電極側にヘマトイトスケールを付着させて電極間の電流値の変化を検出してヘマトイトス

10

20

30

40

50

ケールの付着量を測定することが記載されている。同文献によれば、電極にヘマタイトスケールが形成されると電極間の電流値が変化し、この電流値の変化が伝熱管の内壁におけるヘマタイトスケールの付着量に相関するから、電極間の電流値を計測することでヘマタイトスケールの付着量を測定できるとしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2000-258381号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0005】

しかしながら、特許文献1によれば、ヘマタイトスケールを付着させる一方の電極は、節炭器の入側の温度が低く、かつ減圧された給水中に配置されるから、高温、高圧の給水が通流する伝熱管内とは、ヘマタイトスケールを生成、付着させる条件が異なる。したがって、通常運転条件において、伝熱管内の流体温度及び圧力により生成されるヘマタイトスケールの付着量に差があるとすれば、特許文献1に記載の技術では、伝熱管の内壁に実際に付着するヘマタイトスケールの付着量を予測できないおそれがある。

【0006】

本発明が解決しようとする課題は、伝熱管の内壁に実際に付着するヘマタイトスケールの付着厚さを予測することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の発明者らは、給水処理として酸素処理を採用して通常運転した後の伝熱管を調べたところ、伝熱管の部位によってヘマタイトスケールの付着量、例えば、付着厚さに差があることを知見した。さらに、ヘマタイトスケールの付着厚さに差が生じる原因は、ヘマタイトスケールを生成、付着させる条件の違いであることを知見した。そして、ヘマタイトスケールの付着厚さに差を生じさせる条件は、伝熱管内の給水が超臨界水の状態にある場合において、超臨界水中のFe濃度、流体温度及び流体圧力であり、これらの条件とヘマタイトスケールの付着厚さとの間には、相関があることを見出した。なお、超臨界水とは、臨界点（臨界温度：374、臨界圧力：22MPa）以上の領域にある水のこと

30

【0008】

これらの知見に基づいて、上記課題を解決するため、本発明のヘマタイトスケールの付着診断方法は、給水に酸素を添加して給水中のFeを酸化してヘマタイトを生成させ、ヘマタイトを伝熱管の内壁に付着させて皮膜を形成させるようにした超臨界圧ボイラのヘマタイトスケールの付着診断方法であって、ヘマタイトスケールの付着厚さと、給水中のFe濃度と、流体温度と、流体圧力と、を関係付けた以下に示す評価式に基づいてヘマタイトスケールの付着厚さを予測することを特徴とする。

【0009】

40

すなわち、本発明のヘマタイトスケールの付着診断方法は、ヘマタイトスケールの付着厚さと、給水中のFe濃度と、流体温度と、流体圧力と、を関係付けた評価式を予め設定し、この評価式と、通常運転時の給水中のFe濃度、流体温度及び流体圧力に基づいて伝熱管に実際に付着するヘマタイトスケールの付着厚さを予測するものである。

【0010】

これによれば、伝熱管の実際のヘマタイトスケールの付着厚さを予測できるから、伝熱管内の化学洗浄、伝熱管の交換等を実施すべき時期を予測できる。つまり、ヘマタイトスケールが厚くなると、伝熱管内の流動抵抗の増加、ヘマタイトスケールによる伝熱阻害等の問題が生じるおそれがある。そのため、伝熱管内の化学洗浄、伝熱管の交換等を適宜実施し、ヘマタイトスケールの厚さが設定値を超えないようにしている。したがって、伝熱

50

管の実際のヘマトイトスケールの付着厚さを予測できれば、伝熱管内の化学洗浄、伝熱管の交換等を実施すべき時期を予測でき、超臨界圧ボイラを安定運転できる。

【0011】

なお、ヘマトイトスケールの付着厚さを予測する際に用いる給水中のFe濃度、流体温度及び流体圧力は、実際に測定した実測値、又は設計時に設定される給水中のFe濃度、流体温度及び流体圧力に基づいて求めることができる。

【0012】

ヘマトイトスケールの付着厚さを予測するための評価式としては、以下の(式1)～(式3)のいずれか一つを用いることができる。これらの評価式は、実測データから導き出されたものである。実測データは、約6万時間運転後の伝熱管のヘマトイトスケールの付着厚さを実測し、この実測値と、運転時に超臨界圧ボイラに供給される給水中のFe濃度、伝熱管の各部位の流体温度及び流体圧力を関係付けて得られたものである。

10

【0013】

$$ST = 1.6 \times 10^{-4} \times Fe^2 \times T / \mu \dots (式1)$$

ST：ヘマトイトスケールの付着厚さ

Fe：給水中のFe濃度

T：流体温度

μ ：流体温度と流体圧力により決定される粘性係数

【0014】

$$ST = 0.0048 \times Fe^{0.3} \times SD^{-2.0} \dots 0.16 \dots (式2)$$

ST：ヘマトイトスケールの付着厚さ

Fe：給水中のFe濃度

SD：流体温度と流体圧力により決定される超臨界水密度

20

【0015】

$$ST = 0.0048 \times Fe^{0.3} \times V^{2.0} \dots 0.16 \dots (式3)$$

ST：ヘマトイトスケールの付着厚さ

Fe：給水中のFe濃度

V：流体温度と流体圧力により決定される比容積

【0016】

また、上記評価式に代えて、伝熱管を複数の計測部位に区分し、各計測部位におけるヘマトイトスケールの付着厚さの実測データを、給水中のFe濃度と複数の計測部位における給水の粘性係数に対応させてプロットして作成した評価図に基づいて、ヘマトイトスケールの付着厚さを予測することができる。なお、評価図は、実測データ、例えば、超臨界圧ボイラを約6万時間運転した後の伝熱管の計測部位ごとのヘマトイトスケールの付着厚さ実測値を、給水中のFe濃度の実測値と、各計測部位における流体温度と流体圧力の設計値により決定される給水の粘性係数と、により整理して作成することができる。

30

【0017】

また、上記評価式に代えて、伝熱管の複数の計測部位におけるヘマトイトスケールの付着厚さの実測データを、給水中のFe濃度と複数の計測部位における超臨界水密度に対応させてプロットして作成した評価図に基づいて、ヘマトイトスケールの付着厚さを予測することができる。なお、評価図は、実測データ、例えば、超臨界圧ボイラを約6万時間運転した後の伝熱管の計測部位ごとのヘマトイトスケールの付着厚さの実測値を、給水中のFe濃度の実測値と、各計測部位における流体温度と流体圧力の設計値により決定される超臨界水密度と、により整理して作成することができる。

40

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、伝熱管の内壁に実際に付着するヘマトイトスケールの付着厚さを予測できる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

50

【図 1】本発明のヘマタイトスケールの付着診断方法を適用可能な超臨界圧ボイラの概略図である。

【図 2】本発明の実施例 1 の給水中の Fe 濃度と粘性係数の関係を示す図である。

【図 3】本発明の実施例 1 のヘマタイトスケールの付着厚さとブラウン凝集指数の関係を示す図である。

【図 4】本発明の実施例 1 によりヘマタイトスケールの付着厚さを予測した例を示す図である。

【図 5】本発明の実施例 2 の給水中の Fe 濃度と超臨界水密度の関係を示す図である。

【図 6】本発明の実施例 2 のヘマタイトスケールの付着厚さとパウダー状スケール指数との関係を示す図である。

【図 7】本発明の実施例 2 によりヘマタイトスケールの付着厚さを予測した例を示す図である。

【図 8】超臨界圧ボイラにおける給水の水質を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明を実施の形態に基づいて説明する。まず、本発明のヘマタイトスケールの付着診断方法を実施可能な超臨界圧ボイラの給水の流れについて、図 1 を用いて説明する。超臨界圧ボイラには、例えば、図示していない給水設備が備えられ、給水設備から節炭器 1 に給水が供給されるようになっている。給水設備は、例えば、給水に酸素を添加する酸素添加装置と、給水に pH 調整剤を添加して pH を設定範囲に維持する pH 調整装置が設けられている。酸素添加装置と pH 調整装置により、節炭器 1 に供給される給水は、例えば、溶存酸素 30 ~ 200 $\mu\text{g}/\text{L}$ 、pH 6.5 ~ 9.3 の範囲に調整されている。このように給水設備で給水の溶存酸素量と pH を調整することで、給水中の鉄 (Fe) が酸化されて生成したヘマタイト (Fe_2O_3) が伝熱管の内壁に付着して皮膜を形成する、所謂、酸素処理ができるようになっている。

【0021】

節炭器 1 に供給された給水は、節炭器 1 の伝熱管を通流し、超臨界圧ボイラの排ガスにより予熱される。予熱された給水は、火炉 2 の水冷壁の伝熱管及び伝熱管群を通流して、燃料の燃焼熱により加熱されて、臨界圧以上の水蒸気が発生するようになっている。臨界圧以上の水蒸気は、火炉 2 の上部の煙道に設けられた 1 次過熱器 3、2 次過熱器 4、3 次過熱器 5 の伝熱管を通流して排ガスにより過熱される。3 次過熱器 5 から排出された水蒸気は、図示していない高圧の蒸気タービンに供給され、蒸気タービンの駆動力として用いられる。また、高圧の蒸気タービンを駆動して温度が下がった抽気蒸気は、火炉 2 の上部の煙道に設けられた 1 次再加熱器 6、2 次再加熱器 7 の伝熱管を通流して排ガスにより再加熱された後、中圧又は低圧の蒸気タービンに供給されて、蒸気タービンの駆動力として用いられる。なお、図 1 の網掛けで示した対象範囲は、本発明のヘマタイトスケールの付着診断方法が適用される伝熱管の位置を示している。以下、本発明のヘマタイトスケールの付着診断方法を実施例に基づいて説明する。

【実施例 1】

【0022】

本発明の発明者らは、図 1 の超臨界圧ボイラを約 6 万時間運転後に、火炉 2 の水冷壁の伝熱管を複数の計測部位に分割し、各計測部位のヘマタイトスケールの付着厚さを測定した。また、運転時における給水中の Fe 濃度の実測値を運転記録等から求めた。さらに、各計測部位の流体温度、流体圧力を設計値から求めた。これらの実測値及び設計値を整理して、図 2、3 のグラフを得た。なお、給水中の Fe 濃度は、超臨界圧ボイラに供給される給水中の Fe 濃度を、例えば、節炭器 1 の入口側に設置される Fe 濃度検出センサで実測して求めた値である。

【0023】

図 2 は、流体温度と流体圧力により決定される臨界点以上の領域 (超臨界状態) にある給水の粘性係数を縦軸とし、給水中の Fe 濃度を横軸としたグラフである。また、図 2 の

10

20

30

40

50

点はヘマトイトスケールの付着厚さが0.1mm以下であった計測部位であり、点はヘマトイトスケールの付着厚さが0.1mm以上であった計測部位である。また、同図のデータからヘマトイトスケールの付着厚さが0.1mmとなる境界は、グラフ中に示した曲線11のような、近似曲線になることが推定できる。

【0024】

図2によれば、ヘマトイトスケールの付着厚さは、粘性係数が低くなる、つまり、給水の粘度が低くなると厚くなり、また、給水中のFe濃度が高くなると厚くなることわかる。そこで、ブラウン運動の凝集理論に基づき、ブラウン凝集指数を求め、このブラウン凝集指数に基づいてヘマトイトスケールの厚さの実測値を整理して、図3のグラフを得た。

10

【0025】

図3は、ヘマトイトスケールの付着厚さ(ST)を縦軸とし、ブラウン運動の凝集理論に基づき、下記の(式4)で定義されるブラウン凝集指数(JBI)を横軸としたグラフである。

$$JBI = Fe^2 \times T / \mu \dots (式4)$$

(式4)のFeは超臨界圧ボイラに供給される給水中のFe濃度($\mu g/L$)の実測値であり、Tは流体温度(K)の設計値であり、 μ は流体温度の設計値と流体圧力の設計値により決定される給水の粘性係数($\mu Pa \cdot s$)である。また、図3の点は、各計測部位のヘマトイトスケールの付着厚さの実測値である。なお、(式4)のJBIは1次関数形式であるが、2次や3次関数など別の関数を使用することができる。

20

【0026】

図3によれば、ヘマトイトスケールの付着厚さ(ST)とブラウン凝集指数(JBI)とは、相関があることがわかる。したがって、給水中のFe濃度と、流体温度と、流体圧力から求めたブラウン凝集指数(JBI)に基づいて、ヘマトイトスケールの付着厚さを予測できることがわかる。そこで、ヘマトイトスケールの付着厚さを予測するため、図3の点の近似式を求めた結果、下記の(式5)を得た。

$$ST = 1.6 \times 10^{-4} \times JBI \dots (式5)$$

すなわち、給水中のFe濃度と、予測対象となる伝熱管の部位の流体温度と、流体圧力とを求め、求めた値からブラウン凝集指数(JBI)を算出し、算出したブラウン凝集指数(JBI)を(式5)に代入することで、伝熱管の各部位の6万時間運転後の実際のヘマトイトスケールの付着厚さを予測できるのである。なお、(式5)は、1次関数で整理すると相関係数(R^2)が0.85と良好であったため、1次関数を採用したが、2次、3次関数等他の関数を評価式として使用できる。

30

【0027】

次に、(式5)を評価式として、ヘマトイトスケールの付着厚さが設定上限値、例えば、0.1mmを超える伝熱管の部位を予測する場合を、図4に基づいて説明する。図4は、伝熱管の流体温度を横軸とし、ヘマトイトスケール皮膜の厚さを縦軸としたグラフである。図示のとおり、例えば、伝熱管の給水中のFe濃度が $3 \mu g/L$ 、流体圧力が30MPaであった場合、6万時間後に流体温度が約468以上となっている伝熱管の部位、例えば、火炉2の水冷壁のバーナより上方の伝熱管、又はノーズ壁の伝熱管のヘマトイトスケールの付着厚さが設定上限値0.1mmを超えると予測できる。なお、超臨界圧ボイラの定期点検は、6万時間運転後であったため、実施例1では6万時間運転後のヘマトイトスケールの厚さを予測している。したがって、評価式を求める実測データの採取は、定期点検の時期に応じて適宜選択できる。

40

【0028】

これによれば、実測データに基づいて、ヘマトイトスケールの厚さと、給水中のFe濃度と、流体温度と、流体圧力と、を関係付けた評価式(式5)を予め設定し、この評価式と、通常運転時の給水中のFe濃度と、流体温度と、流体圧力に基づいて伝熱管に実際に付着するヘマトイトスケールの付着厚さを予測することができる。その結果、ヘマトイトスケールの付着厚さを設定値以下に維持するための伝熱管の化学洗浄、交換等の実施時期

50

を予測できる。また、予測結果に基づいて、ヘマタイトスケールが厚くなる点検個所を選定することができる。これらにより、超臨界圧ボイラを安定運転できる。

【0029】

また、給水中のFe濃度、流体温度、流体圧力のみ利用するため、特別な装置を必要とせず、かつ非破壊でヘマタイトスケールの付着厚さを予測できる。

【0030】

また、超臨界圧ボイラの定期点検の時期に応じて、評価式(式5)を適宜設定でき、例えば、1万時間運転後、2万時間運転後、3万時間運転後等の実測データに基づいて設定できる。また、評価式(式5)が他の運転時間に相関する場合は、評価式(式5)を適宜変形して使用できる。

10

【0031】

また、実施例1は、給水中のFe濃度及び流体圧力を一定として、流体温度の変化に基づいてヘマタイトスケール皮膜の厚さを予測している。つまり、超臨界圧ボイラは、伝熱管の流体温度を上げるものであるから流体温度は変化する。一方、超臨界圧ボイラに供給される給水中のFe濃度と、伝熱管の流体圧力は、大きく変化するものではないから、給水中のFe濃度及び流体圧力を一定とし、流体温度の変化に基づいてヘマタイトスケールの付着厚さを予測することができる。

【0032】

また、ヘマタイトスケールの厚さを予測する際に必要な超臨界圧ボイラに供給される給水中のFe濃度、流体温度、流体圧力は、実際に測定した実測値、又は設計時に設定される給水中のFe濃度、流体温度、流体圧力の設計値に基づいて求めることができる。

20

【0033】

また、実施例1は、ヘマタイトスケールの付着厚さの設定上限値を0.1mmとしたが、これに限定されるものではなく、ヘマタイトスケールによる伝熱阻害等を考慮して適宜設定できる。

【0034】

また、ヘマタイトスケールの付着厚さの予測は、常時行う必要はなく、例えば、超臨界圧ボイラの定期点検時に実施することができる。

【0035】

また、評価式(5)に代えて、図2を評価図としてヘマタイトスケールの付着厚さを予測することができる。例えば、予測対象とする伝熱管の部位の流体温度が450、流体圧力が25MPaの場合、給水の粘性係数は $29 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ となる。この場合、超臨界圧ボイラに供給される給水中のFe濃度が $5 \mu\text{g}/\text{L}$ 未満であれば、予測対象の伝熱管の部位における約6万時間運転後のヘマタイトスケールの付着厚さは、0.1mm以下であると予測できる。

30

【実施例2】

【0036】

次に、実施例2のヘマタイトスケールの付着診断方法を説明する。本発明の発明者らは、実施例1で説明した実測データに基づいて、図5、6のグラフを得た。図5は、流体温度と流体圧力により決定される超臨界水密度を縦軸とし、給水中のFe濃度を横軸としたグラフである。また、図5の○点はヘマタイトスケールの付着厚さが0.1mm以下であった計測部位であり、△点はヘマタイトスケールの厚さが0.1mm以上であった計測部位である。同図のデータからヘマタイトスケールの厚さが0.1mmとなる境界は、グラフ中に示した曲線13のような近似曲線になることが推定できる。

40

【0037】

図5によれば、ヘマタイトスケールの付着厚さは、給水の超臨界水密度が低くなると厚くなり、また、給水中のFe濃度が高くなると厚くなることわかる。そこで、給水中のFe濃度と超臨界水密度で定義されるパウダー状スケール指数(PSI)を求め、このパウダー状スケール指数(PSI)に基づいてヘマタイトスケールの付着厚さの実測値を整理した結果、図6を得た。

50

【 0 0 3 8 】

図 6 は、ヘマトイトスケールの付着厚さ (S T) を縦軸とし、下記の (式 6) で定義されるパウダー状スケール指数 (P S I) を横軸としたグラフである。

$$P S I = F e^{0.3} \times S D^{-0.2} \dots (式 6)$$

(式 6) の F e は超臨界圧ボイラに供給される給水中の F e 濃度 ($\mu g / L$) の実測値であり、 S D は、流体温度の設計値と流体圧力の設計値により決定される超臨界水密度 (kg / L) である。また、図 6 の 点は各計測部位のヘマトイトスケールの付着厚さの実測値である。なお、(式 6) は、パウダー状スケール指数 (P S I) の各パラメータを指数関数として整理したが、例えば、2 次や 3 次関数など別の関数を使用することができる。

【 0 0 3 9 】

図 6 によれば、ヘマトイトスケールの付着厚さ (S T) とパウダー状スケール指数 (P S I) とは、相関があることがわかる。したがって、給水中の F e 濃度と、流体温度と、流体圧力とにより求めたパウダー状スケール指数 (P S I) に基づいて、ヘマトイトスケールの付着厚さを予測できることがわかる。そこで、ヘマトイトスケールの付着厚さを予測するため、図 6 の 点の近似式を求めた結果、下記の (式 6) を得た。

$$S T = 0.0048 \times P S I^{0.16} \dots (式 6)$$

ここで、 S T は約 6 万時間運転後のヘマトイトスケールの付着厚さ (mm) である。すなわち、予測対象となる伝熱管の部位の、給水中の F e 濃度と、流体温度と、流体圧力とを求め、求めた値からパウダー状スケール指数 (P S I) を算出し、算出したパウダー状スケール指数 (P S I) を (式 6) に代入することで、伝熱管の各部位の 6 万時間運転後のヘマトイトスケールの付着厚さを予測できるのである。なお、実施例 2 では、1 次関数で整理した結果、相関係数 (R^2) が 0.9 と良好であったため 1 次関数を使用した。2 次、3 次関数等の他の関数を使用することができる。

【 0 0 4 0 】

次に、(式 6) を評価式として、ヘマトイトスケールの付着厚さが設定上限値、例えば、0.1 mm を超える伝熱管の部位を予測する場合を、図 7 に基づいて説明する。図 7 は、ヘマトイトスケールの付着厚さ (S T) を縦軸とし、給水の超臨界水密度 (S D) を下側の横軸とし、流体温度を上側の横軸としたグラフである。例えば、給水中の F e 濃度を $2 \mu g / L$ 、流体圧力を 25 MPa とすると、流体温度が 420 以上となっている伝熱管の部位で、約 6 万時間運転後にヘマトイトスケール皮膜の厚さが設定上限値 0.1 mm を超えると予測できる。

【 0 0 4 1 】

これによれば、ヘマトイトスケールの付着厚さと、給水中の F e 濃度と、流体温度及び流体圧力により決定される超臨界水密度を予め関係付けた評価式 (式 6) を用いて、ヘマトイトスケールの付着厚さを予測できる。

【 0 0 4 2 】

なお、評価式 (式 6) の給水の超臨界水密度に代えて、給水の比容積を用いてヘマトイトスケールの厚さを予測することができる。つまり、超臨界状態における給水の比容積 (V) は、超臨界水密度の逆数であるから、(式 5) を変形して下記の (式 7) に示すようにパウダー状スケール指数 (P S I) を定義できる。

$$P S I = F e^{0.3} \times V^{2.0} \dots (式 7)$$

このパウダー状スケール指数 (P S I) を評価式 (式 6) に代入することで、ヘマトイトスケール皮膜の厚さを予測できる。

【 0 0 4 3 】

また、評価式 (式 6) に代えて、図 5 を評価図としてヘマトイトスケールの厚さを予測することができる。例えば、予測対象とする伝熱管の部位の流体温度が 450、流体圧力が 30 MPa の場合、超臨界水密度は 0.15 kg / L となる。この場合、超臨界圧ボイラに供給される給水中の F e 濃度が 2.5 $\mu g / L$ 未満であれば、予測対象の伝熱管の部位における約 6 万時間運転後のヘマトイトスケールの付着厚さは、0.1 mm 以下であると予測できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

また、実施例 1、2 で予測可能な超臨界圧ボイラは、例えば、最高使用圧力が 15 ~ 20 MPa 又は 20 MPa を超える超臨界圧ボイラである。このような超臨界圧ボイラは、給水処理として酸素処理を採用すると図 5 の網掛けで示すとおり超臨界圧ボイラに供給される給水中の Fe 濃度を $5 \mu\text{g Fe} / \text{L}$ 以下にする必要がある（日本工業規格 JIS B 8223 : 2006 ボイラの給水及びボイラ水の水質より）。

【 0 0 4 5 】

このような管理状態において、例えば、給水中の Fe 濃度を $5 \mu\text{g Fe} / \text{L}$ よりも低い、例えば、 $2 \mu\text{g Fe} / \text{L}$ に維持すると、ヘマトイトスケールの付着厚さは薄くなる傾向にある。しかし、本発明の発明者らは、給水が超臨界状態となる超臨界圧ボイラにおいては、給水中の Fe 濃度を $2 \mu\text{g Fe} / \text{L}$ に維持しても、ヘマトイトスケールの付着厚さが局所的に厚くなり、その部位だけヘマトイトスケールの付着厚さが設定上限値を超えることを知見した。このように局所的に厚くなる部位を予測することは、従来技術では困難である。そこで、実施例 1、2 のヘマトイトスケールの付着診断方法を採用することにより、局所的にヘマトイトスケールが厚くなる伝熱管の部位を予測でき、超臨界圧ボイラを安定運転できる。

10

【 0 0 4 6 】

なお、図 8 の揮発性物質処理とは、給水の pH 調整にアンモニア又は揮発性のアミンを用い、溶存酸素の除去にはヒドラジンを用い、揮発性物質だけで処理する方法である。これにより、給水中の Fe からマグネタイト (Fe_3O_4) を生成し、このマグネタイトを皮膜として、伝熱管の内壁に付着させる。しかし、揮発性物質処理を採用すると、酸素処理に比べて皮膜が多量に付着して、流動抵抗の増加、伝熱阻害等の問題が生じるので、本発明は、給水処理として酸素処理を採用している。

20

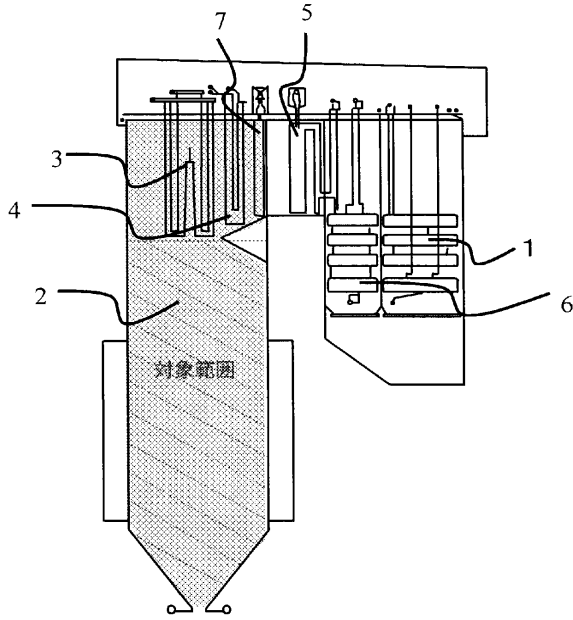
【 符号の説明 】

【 0 0 4 7 】

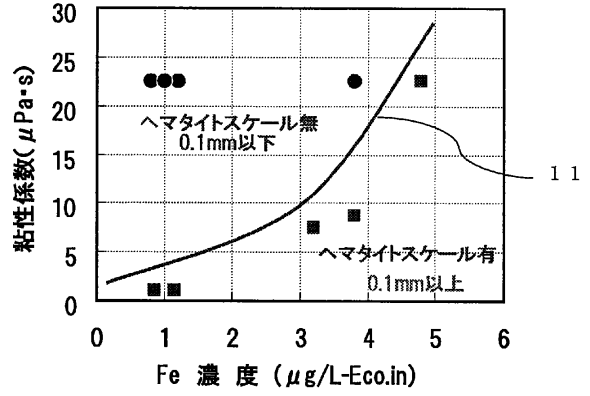
- 1 節炭器
- 2 火炉
- 3 1次過熱器
- 4 2次過熱器
- 5 3次過熱器
- 6 1次再加熱器
- 7 2次再加熱器

30

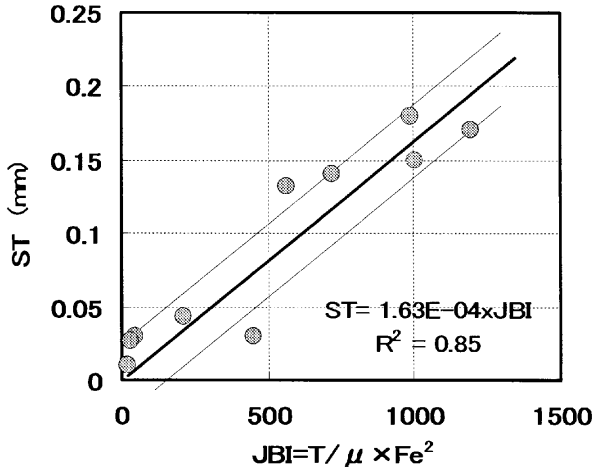
【図1】



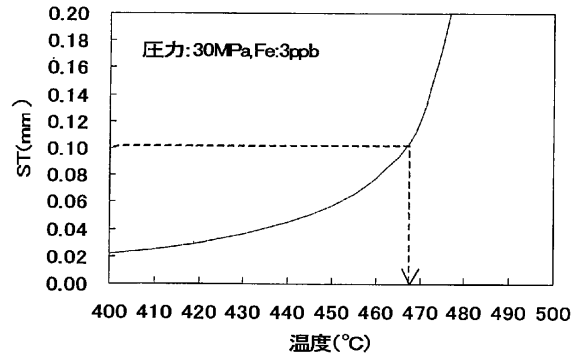
【図2】



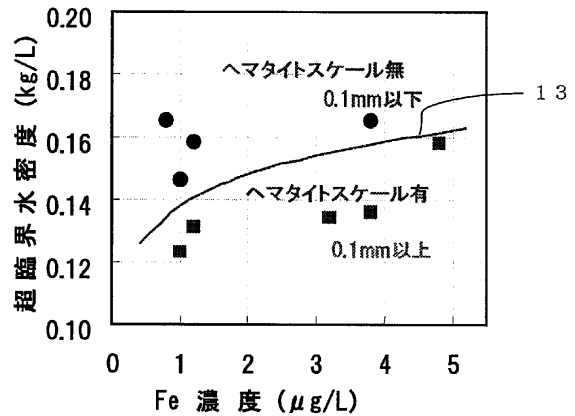
【図3】



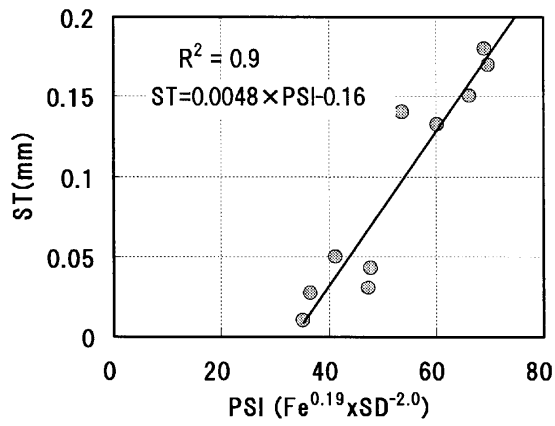
【図4】



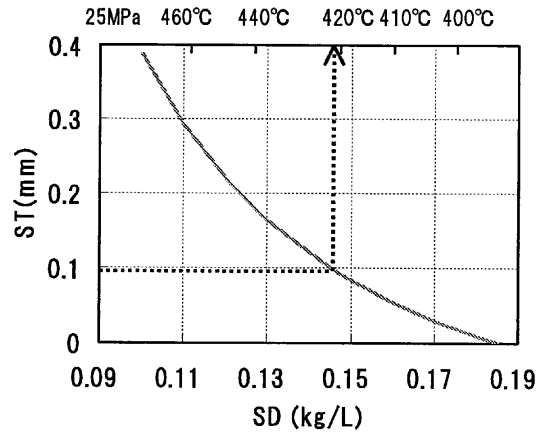
【図5】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

| 処 理 | 揮発性 物質処理 | 酸液処理 | 備 考 |
|-----------------------------|-------------|---------------------|------------------------------|
| pH (25℃) | 9.0~9.7* | 6.5~9.3** | *鋼管では高め **鋼使用缶ではpH8.0~8.5 |
| 油脂類 (mg/L) | 0目標 | 0目標 | |
| 溶存酸素 (μgO/L) | 7以下 | 20~200 ³ | *3:給水Feを最小にする適値 |
| 全鉄 (μgFe/L) | 10以下 | 5以下 ⁴⁴ | *4:2以下に保つことが望ましい |
| 全銅 (μgCu/L) | 2以下 | 2以下 | |
| シリカ (μgSiO ₂ /L) | 20以下 | 20以下 | |
| ヒドラン(NH ₄ mg/L) | 0.01以上 | | |
| 電気伝導率 (25℃ mS/m) | 0.025以下 | 0.02以下 | |
| 注 釈 | AVT | CWT/COT | |

フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 俊一

広島県呉市宝町6番9号
所内

バブコック日立株式会社 呉事業

審査官 山本 崇昭

(56)参考文献 特開平08-200605(JP,A)
特開2007-205692(JP,A)
特開2005-147797(JP,A)
特開2005-221170(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F22B 37/38