

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4968734号  
(P4968734)

(45) 発行日 平成24年7月4日(2012.7.4)

(24) 登録日 平成24年4月13日(2012.4.13)

(51) Int.Cl. F I  
**G O 1 K 11/00 (2006.01)** G O 1 K 11/00 Z  
**F 2 2 B 37/38 (2006.01)** F 2 2 B 37/38 F

請求項の数 5 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2007-202043 (P2007-202043)	(73) 特許権者	000005441
(22) 出願日	平成19年8月2日(2007.8.2)		バブコック日立株式会社
(65) 公開番号	特開2009-36670 (P2009-36670A)		東京都千代田区外神田四丁目14番1号
(43) 公開日	平成21年2月19日(2009.2.19)	(74) 代理人	100096541
審査請求日	平成22年4月6日(2010.4.6)		弁理士 松永 孝義
		(74) 代理人	100133318
			弁理士 飯塚 向日子
		(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】 オーステナイト鋼の使用温度推定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

発電用ボイラステンレス鋼管に用いられるオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法において、

試験片の表面に冷間加工処理により硬化層を形成させ、

該硬化層の硬さと、使用時間と使用温度との関数で表される L M P (ラーソンミラーパラメータ) との関係性を予め求めておき、

次に実際に使用する前のオーステナイト系ステンレス鋼管の外表面に冷間加工処理により硬化層を形成させた後に、実際に高温で使用した当該硬化層の硬さを測定し、前記予め求めていた硬化層の硬さと、使用時間と L M P との関係から当該オーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定することを特徴とするオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法。

【請求項2】

前記実際に使用する前のオーステナイト系ステンレス鋼管の外表面に形成した硬化層の表面に保護カバーを設けたことを特徴とする請求項1記載のオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法。

【請求項3】

前記実際に使用する前のオーステナイト系ステンレス鋼管の外表面に形成した硬化層の表面に保護皮膜からなる被覆部を設けたことを特徴とする請求項1記載のオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法。

10

20

**【請求項 4】**

発電用ボイラステンレス鋼管に用いられるオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法において、

試験片の表面に冷間加工処理により硬化層を形成させ、

該硬化層の硬さと、使用時間と使用温度との関数で表される L M P (ラーソンミラーパラメータ) との関係性を予め求めておき、

次に実際に使用する前のオーステナイト系ステンレス鋼管の内表面に冷間加工処理により硬化層を形成させた後に、実際に高温で使用した当該硬化層の硬さを測定し、前記求めていた硬化層の硬さと、使用時間と L M P との関係から当該オーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定することを特徴とするオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法。

10

**【請求項 5】**

発電用ボイラステンレス鋼管に用いられるオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法において、試験片の表面に冷間加工処理により硬化層を形成させて該硬化層の硬さと、使用時間と使用温度との関数で表される L M P (ラーソンミラーパラメータ) との関係性を予め求めておき、次に既運転中のオーステナイト系ステンレス鋼管の外表面または内表面に冷間加工処理により硬化層を形成させた後に、さらに再運転後に実際に高温で使用した当該硬化層の硬さを測定し、前記求めていた硬化層の硬さと、使用時間と L M P との関係から当該オーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定することを特徴とするオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法。

20

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、火力発電用ボイラやゴミ焼却ボイラの高温部に使用されるオーステナイト系耐熱鋼のメタル温度の測定方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

近年、火力発電用大型ボイラにおいては、経済性の向上、CO<sub>2</sub> ガス排出抑制の観点から、プラント効率を向上させるために蒸気条件が高温高压化する傾向にあり、材料の使用条件が一層厳しくなっている。このような背景の下、高温強度と耐食性を向上させたボイラ用耐熱鋼が開発、実用化された。近年は、フェライト系の材料としては Cr 含有量 8 ~ 12 % の耐熱鋼、またオーステナイト系の材料としては Cr 含有量 18 ~ 25 % の耐熱鋼が使用されている。これらの耐熱鋼の中から高温となる過熱器管及び再熱器管への適用の検討及び選定は、メタル温度や石炭性状等に基づき、クリープ寿命や腐食量評価によりなされているが、評価に用いられるメタル温度は過去の実績データや解析で求めた値ベースとなっている。しかしながら、設計メタル温度と実メタル温度がどの程度適合しているかの確認は、稼動中のボイラ炉内で多数の管のメタル温度を簡単に計測する方法がないため、非常に困難であった。このため、クリープや腐食による余寿命診断を高精度に行うためには、実メタル温度を高精度に評価する必要があった。

30

40

**【0003】**

この課題を解決するため、特許文献 1 ~ 特許文献 3 に示す使用中のメタル温度を推定する方法が提案されている。

【特許文献 1】特開 2004 - 116810 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 300601 号公報

【特許文献 3】特開 2003 - 344261 号公報

**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

特許文献 1 (特開 2004 - 116810 号公報) では、伝熱管パネルの異常なメタル

50

温度を簡便かつ低コストに検知する方法が提案されているが、排熱回収ボイラの吊り下げ型伝熱管という特定装置・部位を対象としており、汎用性がない。また、特許文献2（特開2006-300601号公報）では、使用後の鋼材に析出した析出物の含有率変化を利用して、使用温度を推定する方法が提案されているが、析出物の含有率を測定するために、析出物のみをICP発光分析およびX線回折分析により同定及び定量する方法を用いるので、使用中のメタル温度を推定する方法が簡便でない。

【0005】

汎用性かつ簡便な温度推定手法としては、材料の硬さ変化を利用する方法があり、特許文献3（特開2003-344261号公報）では、フェライト系耐熱鋼の時効による硬さ変化を利用した温度推定方法が考案されている。しかし、この手法は温度、時間と共に硬さが単調に低下するフェライト系耐熱鋼には適用できるが、オーステナイト系耐熱鋼の場合には、材料強度を高めるために添加している合金成分の析出等により、使用温度や材質によっては一旦硬さが増加し、その後低下する挙動を示すことがあり、適用できなかった。従って、オーステナイト系耐熱鋼のメタル温度を幅広く簡便に推定する有効な手段はないのが現状である。

10

【0006】

本発明の課題は、上述した従来技術の問題を解決し、汎用性のある簡便なオーステナイト系耐熱鋼管の表面温度を推定できる手法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の上記課題は、以下に示す解決手段により達成される。

請求項1記載の発明は、発電用ボイラステンレス鋼管に用いられるオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法において、試験片の表面に冷間加工処理により硬化層を形成させ、該硬化層の硬さと、使用時間と使用温度との関数で表されるLMP（ラーソンミラーパラメータ）との関係を予め求めておき、次に実際に使用する前のオーステナイト系ステンレス鋼管の外表面に冷間加工処理により硬化層を形成させた後に、実際に高温で使用した当該硬化層の硬さを測定し、前記予め求めていた硬化層の硬さと、使用時間とLMPとの関係から当該オーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定することを特徴とするオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法である。

20

30

【0008】

請求項2記載の発明は、前記実際に使用する前のオーステナイト系ステンレス鋼管の外表面に形成した硬化層の表面に保護カバーを設けた請求項1記載のオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法である。

【0009】

請求項3記載の発明は、前記実際に使用する前のオーステナイト系ステンレス鋼管の外表面に形成した硬化層の表面に保護皮膜からなる被覆部を設けた請求項1記載のオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法である。

【0010】

請求項4記載の発明は、発電用ボイラステンレス鋼管に用いられるオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法において、試験片の表面に冷間加工処理により硬化層を形成させ、該硬化層の硬さと、使用時間と使用温度との関数で表されるLMP（ラーソンミラーパラメータ）との関係を予め求めておき、次に実際に使用する前のオーステナイト系ステンレス鋼管の内表面に冷間加工処理により硬化層を形成させた後に、実際に高温で使用した当該硬化層の硬さを測定し、前記予め求めていた硬化層の硬さと、使用時間とLMPとの関係から当該オーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定することを特徴とするオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法である。

40

【0011】

請求項5記載の発明は、発電用ボイラステンレス鋼管に用いられるオーステナイト系ス

50

ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法において、試験片の表面に冷間加工処理により硬化層を形成させて該硬化層の硬さと、使用時間と使用温度との関数で表されるLMP（ラーソンミラーパラメータ）との関係を予め求めておき、次に既運転中のオーステナイト系ステンレス鋼管の外表面または内表面に冷間加工処理により硬化層を形成させた後に、さらに再運転後に実際に高温で使用した当該硬化層の硬さを測定し、前記予め求めていた硬化層の硬さと、使用時間とLMPとの関係から当該オーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定することを特徴とするオーステナイト系ステンレス鋼管の実際の使用温度を推定する方法である。

【0012】

上記請求項1、4、5記載の発明において、オーステナイト系耐熱鋼の冷間加工処理による硬化層の硬さ上昇は、合金成分の析出等による硬さの変化分に比べると十分大きいいため、硬さ変化を利用する温度推定が可能となる。

10

【0013】

また、上記請求項2、3記載の発明のように、高硫黄含有量の重油焚きボイラ又は石炭焚きボイラでは高温腐食性が高く、管外面へのショットなどの冷間加工処理層が、運転中腐食減肉によって消失する可能性がある場合は、硬化層の上に耐食カバーを設ける。

【0014】

上記請求項5記載の発明のように、既設運転中のボイラにおいては、定期検査などの停止中に伝熱管の外表面または内表面にショットブラストなどの冷間加工処理を施し、再運転後硬化層の硬さを測定して伝熱管の温度を推定する。

20

【発明の効果】

【0015】

請求項1～5記載の本発明によれば、オーステナイト系耐熱鋼の表面温度推定には従来適用困難であった、汎用性のある簡便な伝熱管表面の硬さ変化を利用する温度推定が可能となる。また、本発明の手法は材料の表面の硬さと運転時間のみで評価できるので、ボイラの定期点検時に評価部位の表面硬さの測定結果と運転時間から運転時の実メタル温度を推定することができ、材料の寿命評価に適用できる。さらに、異常な表面温度など不適合がある部位を早期に発見することが可能となり、伝熱管の噴破などのトラブルを未然に防ぐことができ、ボイラの予防保全に貢献できる。また、高価な装置も必要なく、経済的で汎用性がある。

30

【0016】

請求項2、3記載の本発明によれば、硬化層に保護カバーを設けているので、腐食環境が厳しい部位であっても、高温酸化量は抑制され、温度推定精度を低下させることなく管外面から温度推定できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明の原理を図面により説明する。図1に示すようにオーステナイト系耐熱鋼管1の表面にショットブラスト加工等の冷間加工処理を施すと硬化層2が形成される。硬化層2とは材料表面近傍の結晶粒内に冷間加工に伴うすべり変形を多数発生させて生じる硬化部位のことである。なお図1(a)はオーステナイト系耐熱鋼管1の表面側の断面図であり、図1(b)は、顕微鏡によるオーステナイト系耐熱鋼管1の表面側の断面写真である。この硬化層2は、ショット用下降ノズル3から小さな鋼片や鋼球を圧縮空気で噴出させて耐熱鋼管1などの材料表面に衝突させる図2に示すようなショットブラスト加工処理により、容易に形成できる。

40

【実施例1】

【0018】

冷間加工処理したオーステナイト系耐熱鋼管1の表面近傍の硬さを測定した例を図3に示すが、材料表面近傍の硬さは肉厚中央側より200Hv以上硬化し、管表面からの深さ80μmまでの範囲では硬さはほぼ一定であるのが分かる。従って、評価には硬さがほぼ一定の範囲である管表面からの深さ80μmまでの値を用いることが望ましい。

50

## 【 0 0 1 9 】

次に使用時間及び使用温度が明確な冷間加工処理が施された 1 8 C r 8 N i オーステナイト系耐熱鋼管 1 の試験片表面近傍の硬さを測定し、式 ( 1 ) に示す温度と時間の関数で表される L M P ( ラーソンミラーパラメータ ) と測定硬さをプロットした結果を図 4 に示す。

$$L M P = T \times ( \log t + C ) \quad ( 1 )$$

ここで、T は温度 ( K )、t は時間 ( h )、C は定数である。

なお、上記の定数 C は一般的に 2 0 とされるが、必ずしも 2 0 である必要はない。

## 【 0 0 2 0 】

図 4 で示した関係を 3 次関数で近似すると、下式で表される。

$$L M P = 8 . 2 8 \times 1 0 ^ 3 - 5 . 9 6 \times 1 0 ^ 2 \cdot H v + 1 . 9 6 \cdot H v ^ 2 - 2 . 1 8 \times 1 0 ^ - 3 \cdot H v ^ 3 \quad ( 2 )$$

ここで、H v は管表面から深さ 4 0 ~ 6 0 μ m の位置の硬さ ( H v ) である。

## 【 0 0 2 1 】

本結果では、L M P と硬さの関係は 3 次式で表すと最も良い相関を示したので採用したが、対象となるオーステナイト系耐熱鋼により関係式が変化する可能性があるため、3 次直線に限定するものではなく、直線や 2 次直線等の他の関数を使用してもよい。( 2 ) 式で示される硬化層 2 の硬さと L M P の関係式を、各オーステナイト系耐熱鋼管 1 で作成しておくことで、実機での使用時間と使用後の鋼管 1 の硬化層 2 の硬さから、温度を推定することができる。

## 【 0 0 2 2 】

推定方法としては、温度推定したいオーステナイト系耐熱鋼管 1 の表面にショットブラスト加工処理により硬化層 2 を形成させる。次にこの硬化層 2 を形成させた鋼管 1 を実機の高温度部である期間使用し、使用後に鋼管 1 の硬化層 2 の硬さを測定する。実機での使用時間を 5 0 , 0 0 0 h、使用後の硬化層 2 の硬さを 2 5 0 H v とした場合、( 1 ) 及び ( 2 ) 式を用いて温度を推定すると、図 5 に示すように管表面の温度は 6 2 6 と推定できる。9 5 % 信頼区間上限値は 6 5 5 となり平均値より 2 9 高い値を示すが、この信頼範囲については、硬さと L M P の関係式 ( 2 ) 式をデータ数を増加させて改良することにより、小さくすることも可能である。

## 【 0 0 2 3 】

このようにして、本発明により、使用時間と硬さから実機の伝熱管表面の温度を推定することができる。なお、温度と時間の関数に L M P ( ラーソンミラーパラメータ ) を使用して説明したが、特にこれに限定するものではなく、例えば O S D ( O r r - S h e r b y - D o r n ) パラメータや M H ( M n s o n - H a f e r d ) パラメータを使用してもよい。

## 【 実施例 2 】

## 【 0 0 2 4 】

上記の実施例 1 では、材料表面近傍の硬さをを用いた温度推定原理と方法について説明した。実際に実機のオーステナイト系耐熱鋼管 1 の外面から温度を推定する場合、図 6 に示すように、温度を測定したい鋼管 1 の管外面に冷間加工による硬化層 2 を形成させ、温度推定に適用する。管外面の場合、燃焼ガスや付着灰による高温酸化が生じるため、ブラシや脱スケール溶液などにより管表面の酸化物を除去した後、ポータブル硬度計を用いて硬さを測定する。

## 【 0 0 2 5 】

ただし、より高温で使用期間が長い場合には高温酸化量が増加するため、硬さ測定の推奨範囲である表面からの深さ 8 0 μ m 以上減肉し、推定精度が著しく低下する可能性がある。従って、腐食環境が厳しい部位には図 7 に示すように、硬化層 2 を高耐食性のステンレス製の保護カバー 4 で覆うことが望ましい。保護カバー 4 により高温酸化量は抑制され、温度推定精度を低下させることなく管外面から温度推定できる。鋼管表面の酸化防止についてはステンレス製の酸化防止保護カバー 4 に限定するものでなく、例えば耐熱塗料な

10

20

30

40

50

どの皮膜を使用してもよい。

なお、管外面への硬化層形成は定期点検期間中に新たに形成することが可能であり、既存のボイラのオーステナイト系耐熱鋼管 1 にも適用できる。

【実施例 3】

【0026】

上記の実施例 1, 2 では鋼管外表面から温度推定する適用例を示したが、オーステナイト系耐熱鋼管 1 の管内表面に硬化層 2 を形成させて、温度推定に使用してもよい。管内表面の硬さ測定は鋼管 1 を切断・抜管し、断面で硬さを測定する必要があるが、切断・復旧工事は定期点検期間中に比較的容易に行うことができるため、可能である。また、管内表面への硬化層 2 の形成は、図 8 に示すように管内面の水蒸気酸化抑制用にショット加工を施す装置があり、容易に施工可能である。

10

【実施例 4】

【0027】

上記の実施例 1 ~ 3 ではボイラ管への適用例を示したが、高温で使用される機器であれば、化学装置に使用されるオーステナイト系耐熱鋼等にも広く適用できる。

【実施例 5】

【0028】

上記の実施例 1 ~ 3 では新設ボイラ管への適用例を示したが、高温で使用される機器であれば、既設運転中のプラントに使用されているオーステナイト系耐熱鋼等にも広く適用できる。この場合は、定期点検などの停止中に管の外表面又は内表面にショットブラストなどの冷間加工処理を施し、再運転後にその部分の硬さ測定結果とその間の運転時間から伝熱管温度が推定できる。

20

【産業上の利用可能性】

【0029】

発電プラントの発電効率向上のため、ボイラ蒸気条件はさらなる高温・高圧化が予想され、高温部過熱器管や再熱器管の実温度推定は材料寿命評価に不可欠であり、本発明はより一層重要となる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図 1】本発明になる実施例に用いたオーステナイト系耐熱鋼管の硬化層形成部分の断面図（図 1 (a)）と断面写真（図 1 (b)）である。

30

【図 2】本発明になる実施例に用いたオーステナイト系耐熱鋼管へのショット加工方法の説明図である。

【図 3】本発明になる実施例に用いたオーステナイト系耐熱鋼管の表面からの距離と表面の硬さの関係を示す図である。

【図 4】本発明の効果の説明するための LMP とオーステナイト系耐熱鋼管の表面の硬さの関係を示す図である。

【図 5】本発明の効果の説明するための使用時間及び使用後の管表面硬さからの温度推定するショット層の硬さと温度の関係を示す図である。

【図 6】本発明になる実施例に用いたオーステナイト系耐熱鋼管外面へのショット加工方法を説明する図である。

40

【図 7】本発明になる実施例に用いた管外面にショット加工を施した後、保護カバーを設置したオーステナイト系耐熱鋼管の斜視図である。

【図 8】本発明になる実施例に用いたオーステナイト系耐熱鋼管内面へのショット加工方法を説明する図である。

【符号の説明】

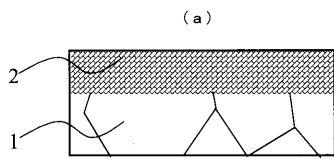
【0031】

- 1 オーステナイト系耐熱鋼管
- 2 ショット加工による硬化層
- 3 ショット加工用ノズル

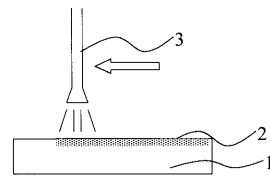
50

4 酸化防止保護カバー

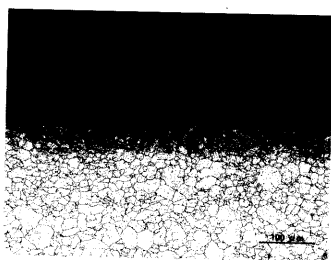
【図1】



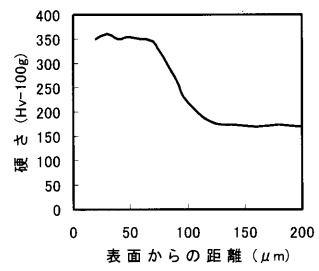
【図2】



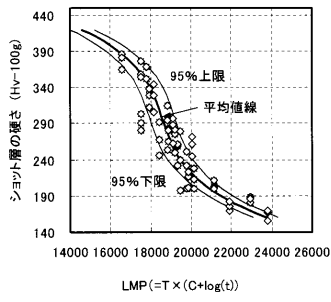
【図3】



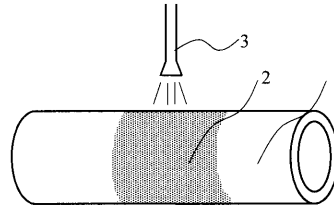
【図3】



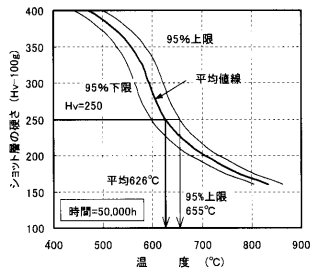
【 図 4 】



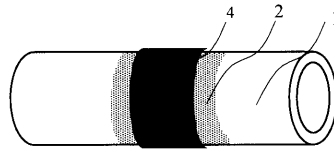
【 図 6 】



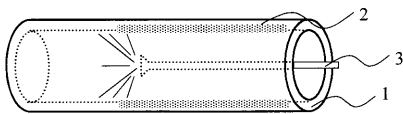
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 福田 祐治

広島県呉市宝町5番3号  
所内

バブコック日立株式会社 呉研究

審査官 松浦 久夫

(56)参考文献 特開2006-208214(JP, A)

国際公開第2007/057946(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01K 11/00