

水蒸気酸化スケールが語るボイラの履歴

長期使用過熱器・再熱器管の健全性評価への一つのアプローチ
(電力技術研究所 材料G)

火力発電用ボイラの高温度部管は、設計基準である10万時間を越えるものが多くを占めており、適切な点検と適時の更新が重要課題となっている。この観点から多くのボイラ過熱器管・再熱器管のクリープ破断試験や金属組織の観察を実施するとともに、管内面の水蒸気酸化スケールの状態についても注意深く観察してきた。その結果、このスケールがボイラの使用状態の履歴をよく表すことがわかったので紹介する。

Boiler History Measured by Steam Oxidation Scale One Approach toward Condition Evaluation of Superheater and Reheater Tubes Used for Long Term

(Electric Power Research & Development Center, Material Group)

Most of high-temperature tubes of a boiler for thermal power generation have been serviced beyond their design standard life of 100 thousand hours. Therefore, appropriate inspection and renewal at right time are the important subjects. From this viewpoint, we have conducted so far not only the creep rupture tests of many boiler superheater and reheater tubes and their microstructural examinations, but also the careful observations of steam oxidation scale on the inside surface of tubes. As a result, we have found that this scale well represents the history of boiler's service conditions, and the details are reported hereinafter.

1 ● 水蒸気酸化スケールとは

ボイラの中で、高温高压の蒸気を作り出す過熱器管と再熱器管の内面には、長期間にわたる蒸気との反応によって酸化スケールが生成し、成長する。実機の過熱器管の典型的な水蒸気酸化スケール（以下スケールと呼ぶ）の形態を、第1図および第2図に示す。

低合金鋼（Cr-Mo鋼）管のスケールは、ほぼ厚みの等しい平坦な二つの層であり、水蒸気側のスケールを外層スケール（マグネタイト）、管材側のスケールを内層スケール（スピネル酸化物）と呼んでいる。オーステナイトステンレス鋼管のスケールは、母材中のクロム濃化層（ Cr_2O_3 ）の影響を受けて、Cr-Mo鋼管と異なった複雑な成長挙動を示している。

スケール障害の大部分は、ステンレス鋼管のスケール剥離による管路の流通障害であるといわれている

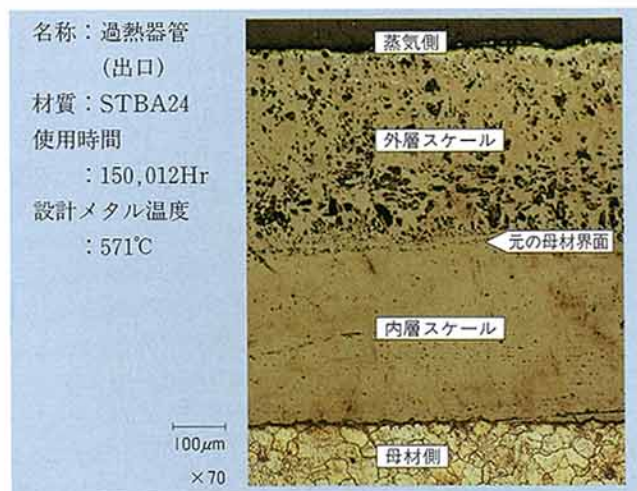
が、Cr-Mo鋼管では、スケールは厚く成長するものの管から剥離することが少ないため具体的な障害は殆ど経験されていない。

このようにCr-Mo鋼管スケールは、安定的に成長し剥離が少ないことから、スケール中には、過・再熱器管の運転開始以来の様々な履歴情報が蓄積・保存されていると着目するものである。以下に得られた履歴情報事例を紹介する。

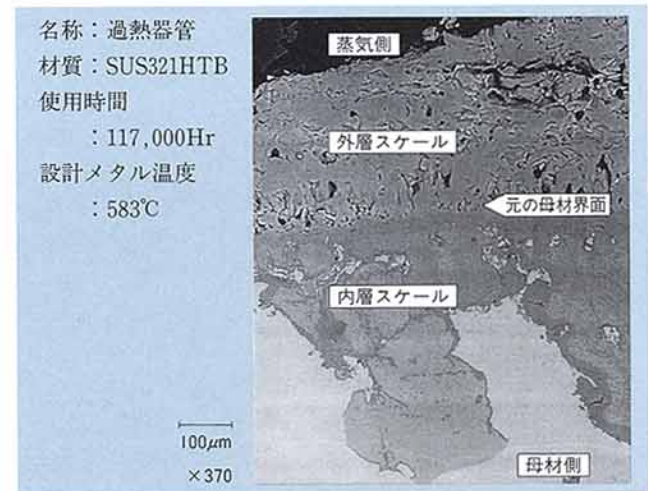
2 ● Cr-Mo鋼管スケールから得られた履歴情報

(1)使用メタル温度の推定

長期使用管の健全性評価において、使用温度データは、重要なファクターである。スケールの酸化物生成量は温度・時間とよい対応があることから、スケール厚さから運転中の平均的なメタル温度を推定できる。



第1図 Cr-Mo鋼管スケールの光学顕微鏡写真



第2図 オーステナイトステンレス鋼管スケールの電子顕微鏡写真

実機データを元にした計算式の一例を下式に示す。

・STBA23 $T = 11780 / (14.50 + \log t - 2 \log \theta) - ①$

・STBA24 $T = 11780 / (14.30 + \log t - 2 \log \theta) - ②$

ここで、Tは使用温度(°K)、 θ は全層スケール厚(μm)、tは時間(hr)である。

第1表に計算式による温度推定例と設計値・実測値とを比較する。過熱器入口・出口や主蒸気管の温度は、ボイラの性能を発揮するために、設計温度と実際温度がよく一致しているものと考えられる。よって推定温度は実際温度を良い精度で表しているといえる。

従って、設計値と実際値に差が生じやすい火炉内の過・再熱器の温度上昇域や設計温度を越える過熱部位については、スケール厚さからの計算式による温度推定が有効な手法と考えられる。

(2) 起動停止履歴の推定

第1図に示したスケール断面を、電解エッチングにより、スピネル酸化物(M_3O_4 : MはFe、Crなどの金属イオン)をエッチングすると、第3図に示すような内層スケール部に年輪状の縞模様が現れる。この縞模様は、太い細いの差はあるが、他部位や他ボイラの過・再熱器でも観察される。拡大写真から縞の数をカウントすると、起動停止履歴と関連することがわかった。

(3) オーバーヒート有無の推定

570°Cを越えると、鉄の酸化物はFeOが生成し始める。FeOおよびFeOの分解生成物である αFe は、 Fe_3O_4 に比べエッチングされ易いので、エッチングによりその存在が確認できれば、およそ600°C以上の過熱履歴を推定することができる。第4図に使用過程において過熱の発生した事例を示す。FeOの存在は、X線回折でも確認している。またスケール厚さから計算した全運転時間中の平均メタル温度は、585°C(設計温度565°C+20°C)であり、過熱の発生を裏付けた。

(4) クリープ膨出有無の推定

膨出初期の変形計測は、管の元寸法が不明確であったり、外面減肉の影響により、一般的に困難である。第5図は、管膨出が1.4%(外径比)において、内面スケール表面に割れが認められたものである。割れは管外面からの超音波探傷(斜角)でも検出できた。

表-1 計算式によるメタル温度推定例

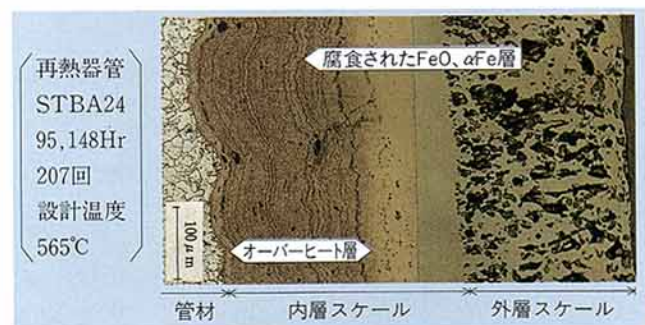
	ケースI	ケースII	ケースIII
管名称	過熱器(入口)	過熱器(出口)	主蒸気管
材質	STBA23	STBA24	STPT24
使用時間	2×10^5 Hr	2×10^5 Hr	1.3×10^5 Hr
スケール厚さ	370 μm	800 μm	510 μm
① 設計温度	544°C	588°C	571°C
② 実測温度	541°C	—	—
③ 推定温度	530°C	582°C	568°C
① - ③	$\Delta 14^\circ\text{C}$	$\Delta 6^\circ\text{C}$	$\Delta 3^\circ\text{C}$
② - ③	$\Delta 11^\circ\text{C}$	—	—

3 ● まとめと今後

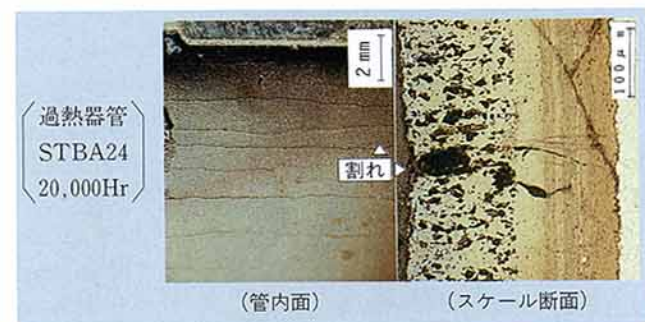
名探偵シャーロックホームズは、靴底のわずかなスケール(泥)から、犯人を割り出したという。脆く剝離しやすいスケールでも注意深く見れば様々な情報がある。この種のデータをさらに積み重ね、経年火力の保守管理に役立てていきたい。



第3図 内層スケールにあらわれた縞模様



第4図 内層スケールにあらわれたオーバーヒート層



第5図 管内面スケール割れ例