

# エチレン分解炉輻射管の経年劣化と 非破壊検査技術の開発

住友化学(株)生産技術センター材料設備技術グループ すえつぐ 末次 ひでひこ 秀彦、ほしか 星加 たかひさ 貴久

## 1. 経緯・背景

エチレンプラントは石油化学コンビナートの基幹プラントであり、分解炉はその中枢機器である。エチレンの収率は分解温度によって変化し、時代とともに高収率化、すなわち運転温度の高温化が進んできた。この環境において発生する材料問題は浸炭とクリープであり、耐浸炭特性や耐クリープ特性に優れた材料が運転温度の上昇にあわせて次々と採用されてきた。

このような材料変遷の中で輻射管に発生した浸炭の程度を非破壊的に精度良く測定し、最適な輻射管の更新時期を決定することは、プラントの安全安定操業を継続する上で非常に重要である。

本報告では、輻射管材料として採用が進んできた(株)クボタ社製のKHR45A(31Cr-43Ni)の実機使用材の破壊調査結果を含め、KHR45Aの浸炭測定技術の開発状況を報告する。

## 2. 分解炉輻射管の損傷形態

分解炉輻射管における代表的な損傷形態は浸炭とクリープ損傷である。浸炭は $Cr_2O_3$ を代表形態とするクロム炭化物が管内表面側に形成される現象である(写真1)。

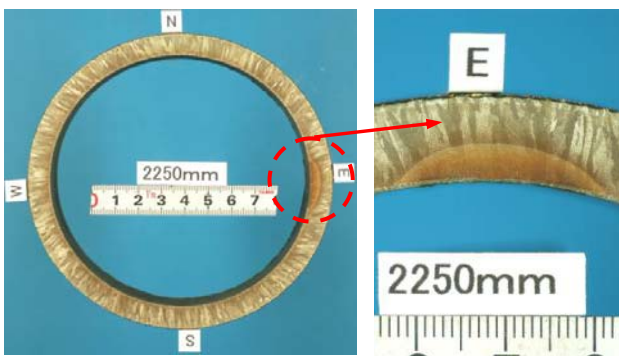


写真1 輻射管の浸炭

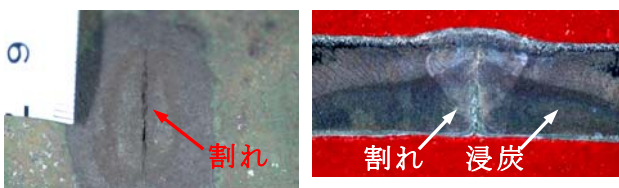


写真2 クリープ割れ

更に、浸炭に伴う体積膨張により、高温使用下では管外表面の健全層に多大の引張応力を生じさせ、管の変形やクリープ損傷を発生させ、管を破断させてしまうことがある(写真2)。

## 3. 材料の変遷

当社の分解炉輻射管材料はSUS304やSUS310といったオーステナイト系ステンレス鋼に始まり、高温強度を持たせるために高炭素化した遠心鋳造管、耐浸炭性を向上させるためクロムとニッケルを増加したHP合金、そして更なる耐浸炭性を期待して1990年代からテスト採用も含め高クロム・高ニッケル合金のKHR45A材が採用されている。こうした材料変遷の中で、使用後の材料評価や適材選定、非破壊的な浸炭測定技術の開発などを行ってきた。

## 4. KHR45Aの調査履歴

当社では分解炉にテスト管として挿入されていた管を含め、使用期間の異なるKHR45Aを収集し破壊調査を進めてきた(表1)。KHR45Aは表面の強固な酸化被膜の効果により、浸炭発生までの時間(潜伏期間)が長くなり、更新期間についても1世代前のKHR35CWの平均7年程度に対して13年程度まで延長されることを確認した(図2)。

表1 KHR45A材の破壊調査履歴

使用期間	浸炭	窒化	クリープ割れ
1. 5年	なし	なし	なし
2. 5年	なし	なし	なし
4. 3年	なし	なし	なし
6. 0年	なし	なし	なし
6. 5年	スポット 3mm	なし	なし
9. 0年	スポット 5mm	あり	なし
10. 5年	スポット 6mm	あり	なし
15. 0年	スポット 6mm	あり	溶接部 1ヶ所

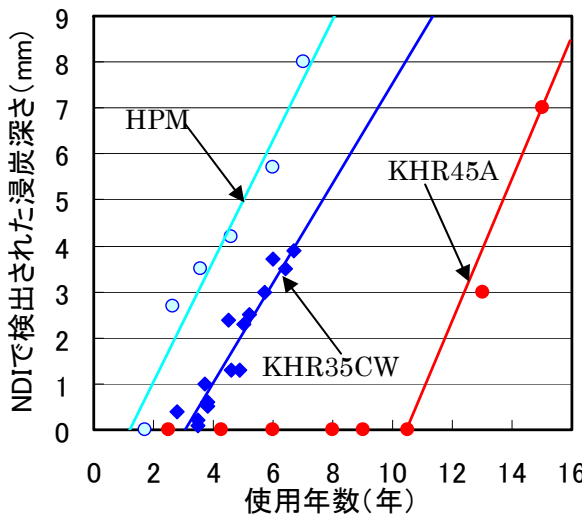


図2 実機の全面浸炭深さの推移

### 5. KHR45Aの浸炭測定における問題点

当社では1980年代末にHP合金に特有な管外表面の磁性層(クロム欠乏層)の影響を軽減した非常に精度の高い浸炭測定技術を開発し(特許番号:第2616105号)、分解炉輻射管を安全に寿命まで使い切るための必須技術として、国内外のエチレンプラントで用いてきた(図3)。

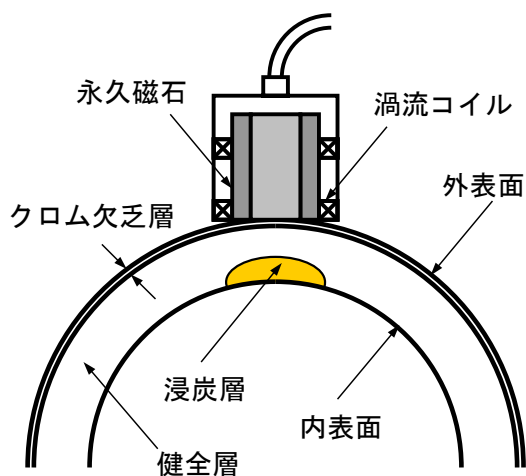


図3 浸炭測定の様式図

輻射管材料がKHR45Aになると長期使用により管外表面の酸化層の内側にクロムと窒素の化合物( $Cr_2N$ )の層(以下窒化層)が形成される(写真3)。窒化層は酸化によるクロム欠乏層(約0.5mm)よりも厚いクロム欠乏層(約2mm)を形成する。窒化層形成に伴う電磁気特性の変化は非常に大きく、浸炭測定精度を低下させる要因となった。具体的には、窒化層により未浸炭部では浸炭発生を誤診し(×印)、浸炭部では浸炭厚さを過小評価(△印)してしまう(図4)。

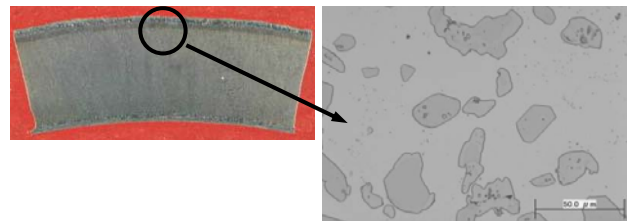


写真3 輻射管の窒化

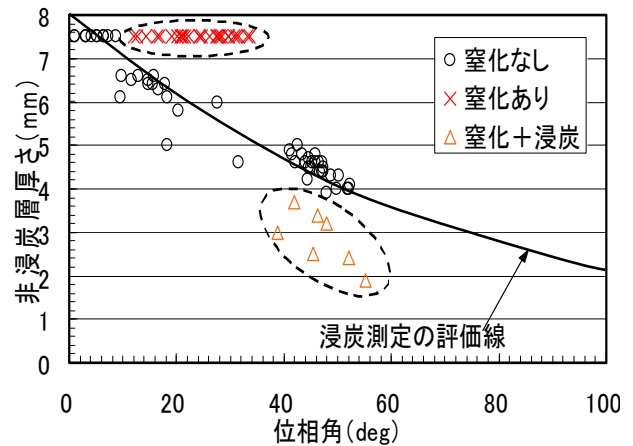


図4 窒化による浸炭深さ評価への影響

### 6. 窒化層の発生有無評価方法の開発

電磁気的には窒化層も浸炭層も材料の透磁率を変化させる現象であるが、窒化層は管外表面近傍に限って形成される。このことから、管外表面に集中的に渦電流を流して外表面の情報のみを得る窒化評価用コイルを設置した新型コイルを製作した(図5)。

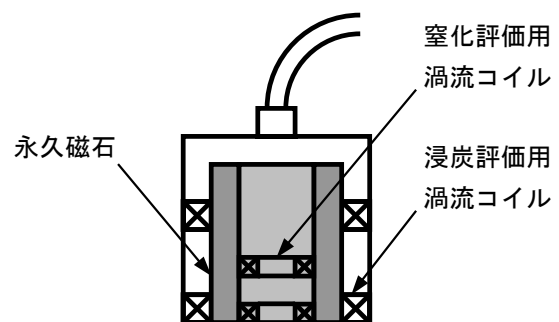


図5 2ch型コイル

このコイルを用いて実炉から抜管されたKHR45A材を対象にして測定データを採取するとともに、破壊検査を行って窒化や浸炭の発生状況を確認した。その結果、図6に示すように渦流探傷信号から得られる位相角と振幅(ch1とch2)の情報を組合せて輻射管に発生した窒化や浸炭の発生、あるいは窒化と浸炭が複合して発生していることを明瞭に評価できることを見出した(特開2005-257286)。

また、窒化層が形成されていない場合にはKHR45A材も従来のHP合金の浸炭測定評価線が対応することを確認した(図7)。よって、先ず窒化有無評価を行い、窒化が存在する場合に浸炭測定値を補正することで、浸炭測定の精度が確保できる。

当社のエチレンプラントの輻射管は、HP合金からほぼKHR45A材への更新が完了し、浸炭・窒化が問題となる時期となっている。この研究成果をもとに、最適な輻射管の更新時期を決定し、プラントの安全安定操作を確保した上で、保全コストをミニマム化していく。

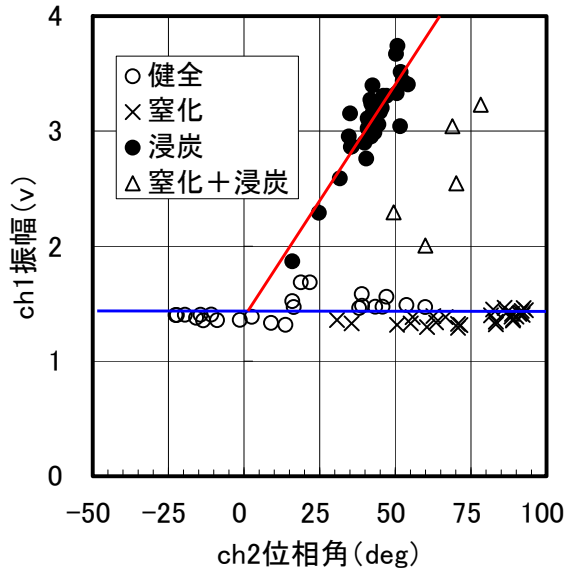


図6 代表的な窒化層の発生有無評価線図

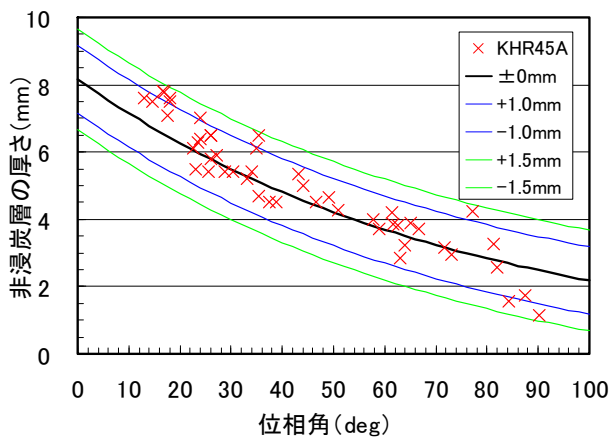


図7 HP合金用浸炭測定評価線へのKHR45A材データのプロット結果

## 7. まとめ

当社のエチレン分解炉輻射管として採用しているKHR45Aについて継続的に破壊調査を行った結果、15年間使用における寿命傾向をつかむことができた。更に、浸炭測定精度を低下させる窒化層の有無を検出する技術を開発し、浸炭測定精度を確保することができた。

今後の課題は、窒化層および窒化層と浸炭層が共存した場合の強度評価を行う方法を検討して、輻射管の寿命に対する窒化と浸炭の影響を解明することである。