

**Basic corrosion related to Sugar industry**  
**NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĂN MÒN TRONG HỆ THỐNG**  
**NỒI HƠI NHÀ MÁY ĐƯỜNG**

1. Định nghĩa ăn mòn
2. Các dạng ăn mòn thường gặp trong hệ thống nồi hơi
  - Ăn mòn ôxy
  - Ăn mòn axit: Hòa tan lớp bảo vệ magnetit trong hệ thống nồi hơi, xảy ra trong hệ thống cô đặc và trên đường ống nước ngưng
3. Trạng thái ăn mòn thép không gỉ và các dạng ăn mòn:
  - Ăn mòn lỗ (nồi cô đặc thép không gỉ)
  - Ăn mòn ứng lực
  - Ăn mòn khe (crevice corrosion) đối với nồi cô đặc nóng ống
  - Ăn mòn mài mòn do dòng chảy
  - Một số vấn đề liên quan đến hàn thép không gỉ
4. Ăn mòn đồng
5. Ăn mòn dưới lớp cặn

Corrosion is the reaction of a metallic material with its environment that results in a damage of the material or component before its regular lifetime. Corrosion effects are mostly the result of electro-chemical reactions, but mechanical influence is possible too.

*Attention:* All materials used for technical components or constructions have a defined – not endless – lifetime only. The lifetime is supposed to be approx. 5-50 years, depending on material, design, environment and operation conditions.

1. Định nghĩa

Ăn mòn là phản ứng giữa vật liệu kim loại và môi trường gây nên sự phá hủy vật liệu hoặc chi tiết sớm hơn tuổi thọ thông thường của nó.

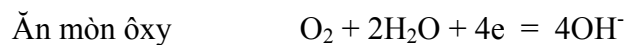
Quá trình ăn mòn trong nồi hơi chủ yếu là ăn mòn điện hoá. Đó là phản ứng giữa vật liệu kim loại với môi trường mà hậu quả là vật liệu hoặc cấu kiện bị phá hủy

Vùng mà kim loại bị ăn mòn và đi vào dung dịch dưới dạng cation kim loại (như ion  $Fe^{2+}$ ) gọi là anôt. Vùng mà môi trường xung quanh - hầu hết là nước- phản ứng với điện tử từ anôt chuyển đến gọi là catôt.

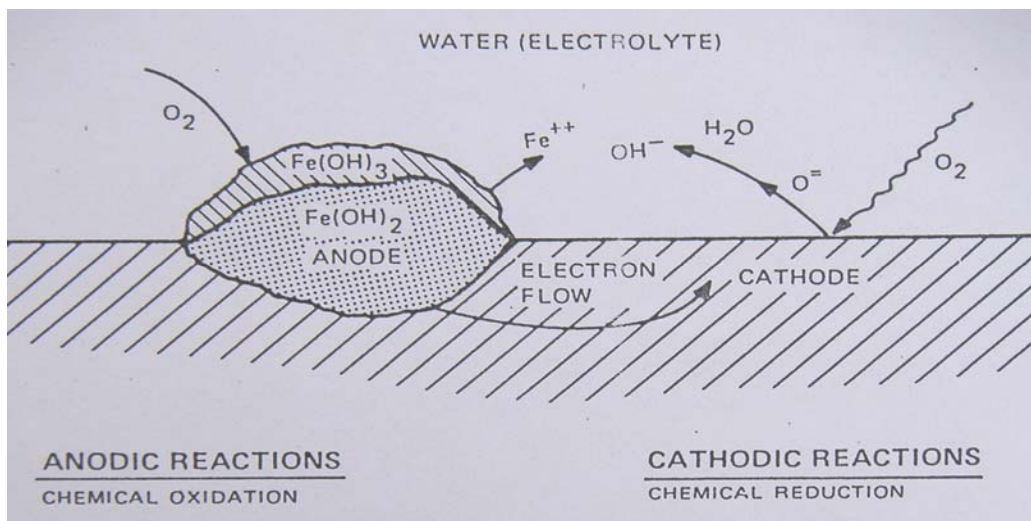
Ví dụ như phản ứng khử oxy ( $O_2$ ) thành anion  $OH^-$  (dạng ăn mòn ôxy) hoặc cation  $H^+$  của axit bị khử thành nguyên tử hydro (dạng ăn mòn hydro).



Ở catôt



Sơ đồ điển hình của quá trình ăn mòn ôxy trên sắt/thép được đưa ra trên hình .



Hình : Sơ đồ nguyên tắc ăn mòn ôxy.

### *Corrosion Rate*

Tốc độ ăn mòn được đo bằng sự tổn hao trọng lượng tính theo mm/năm hoặc tổn hao trọng lượng trên một đơn vị diện tích bề mặt sau một thời gian nhất định –  $g/m^2$ giờ,  $g/m^2$ ngày,  $g/m^2$ năm

A uniform material loss  $< 0.1$  mm/yr (or mm/a) is defined as technical “corrosion resistant” for common use.

For instance low-alloyed carbon steel at operational temperatures of 300-330 °C in low conductive alkaline water or steam shows a corrosion rate of approx. 0.15 mm within 20 years, that of austenitic stainless steel is approximately ten times lower!

Most of corrosion rates from literature are measured under laboratory conditions for uniform corrosion and are not directly transferable to a technical application. A little corrosion rate as

mentioned excludes not other specific corrosion effects, like stress corrosion cracking (SCC), flow assisted corrosion (FAC), strain induced corrosion or crevice corrosion etc.!

## **2. Các dạng ăn mòn thường gặp trong hệ thống nồi hơi**

Trong nồi hơi, dạng và tốc độ ăn mòn được quyết định chủ yếu bởi trạng thái khác nhau của lớp magnetite bảo vệ (như lớp xốp hay lớp chắc đặc), khuyết tật trong lớp magnetite hoặc điều kiện thông khí khác nhau của lớp magnetite (trên và dưới lớp cặn, trên và dưới đường mức nước).

Trong thực tế, dù nước cấp (BFW) và nước nồi (BW) có chất lượng tốt nhất vẫn không thể tránh khỏi vết của các chất nhiễm bẩn như các chất không bay hơi (chứa trong nước) và đặc biệt là sự tuần hoàn các hợp chất kim loại (sản phẩm ăn mòn) như hợp chất của sắt, đồng, kẽm ở dạng không hoà tan (các hạt ôxit) và các chất rắn hoà tan. Đặc biệt, trong quá trình khởi động nồi hơi, các chất nhiễm bẩn thường có hàm lượng lớn hơn nhiều, đặc biệt là các hợp chất của sắt.

Theo lý thuyết, độ dẫn thấp nhất của nước tinh khiết ở 25°C khoảng 0,055  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , nghĩa là BFW chất lượng tốt với độ dẫn axit ở 25°C là 0,15  $\mu\text{S}/\text{cm}$  vẫn còn chứa các chất nhiễm bẩn có độ dẫn tương đương 0,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Các chất nhiễm bẩn có thể có do các nguồn sau:

- ❖ CO<sub>2</sub> hoà tan từ: -
  - Không khí (tại cân bằng đạt tới 0,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).
  - Phản ứng phân huỷ xác động vật (có trong nước) bởi ôxy, ví dụ như carbonylazide.
- ❖ Hơi axit hữu cơ từ: -
  - Sự thủy phân và ôxy hoá các hợp chất amin.
  - Phản ứng phân huỷ các hợp chất hữu cơ.

- ❖ Hoi hợp chất amin: không hoàn toàn bị giữ lại ở thiết bị trao đổi cation.
- ❖ Các axit vô cơ không bay hơi từ:
  - Các hợp chất được trao đổi tại thiết bị trao đổi cation (các chất này trôi qua thiết bị khử khoáng và/hoặc trôi qua thiết bị làm sạch nước ngưng).
  - Từ axit.

### 2.1. Ăn mòn ôxy

Sự ăn mòn ôxy thường xảy ra trong suốt quá trình dùng lò (nếu áp suất bằng không và hơi được thay thế bởi không khí). Hiện tượng này làm cho thép bị ăn mòn cục bộ (hình 3 và 4), giống như thép cacbon bị ăn mòn trong khí quyển.



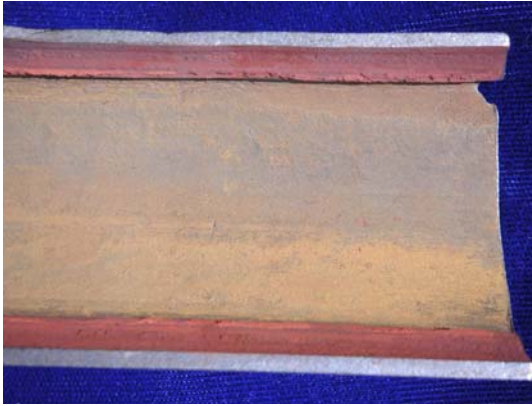
Hình 3. Ăn mòn ôxy trên ống lửa của nồi hơi



Hình 4. Ăn mòn ôxy trên ống khói.

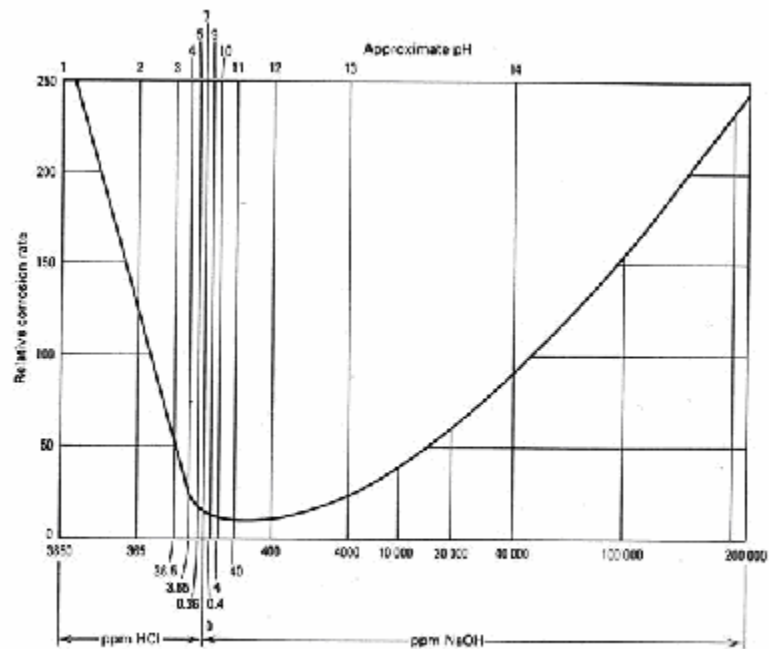
### 2.2. Ăn mòn axit

Ăn mòn do axit cacbonic thường xảy ra trong đường ống dẫn hơi và trong đường ống nước ngưng, (ảnh 5 và 6). Trong nồi hơi và trong nồi cô đặc nếu hàm lượng axit hữu cơ cao, ăn mòn axit cũng có thể xảy ra



Hình Ăn mòn axit cacbonic trên ống hồi lưu nước ngưng (bên phải: ảnh phóng to).

Kim loại dễ bị ăn mòn và bị ăn mòn với tốc độ cao trong môi trường axit



Hình: Tốc độ ăn mòn thép trong nước ở 310°C phụ thuộc vào pH và nồng độ của HCl và NaOH

## **Ăn mòn cục bộ**

### *Ăn mòn dưới lớp cặn*

Ăn mòn cục bộ tại các vùng bốc hơi của nồi hơi với sự truyền nhiệt lớn là do sự đóng cặn của sản phẩm ăn mòn, trước hết là lớp ôxit sắt kết tủa từ BW, sau đó nó kết hợp tại chỗ với nước nồi hơi không theo một quy luật nào. Tại những vùng có dòng nhiệt lớn, lớp cặn xốp đầu tiên (giống như bọt biển) được tạo thành từ cặn chất rắn không tan sa lắng. Các nhiễm bẩn hoà tan trong BW chui vào bên trong các lỗ của lớp cặn xốp này, tích tụ, cô đặc lại. Vì vậy mà vật liệu bị phá huỷ hoặc là do pH thấp (do tính axit của nước nồi hơi, ví dụ nước làm mát bị lẫn vào nước BW), hoặc do pH cao (còn lại sau quá trình rửa kiềm, hay do bị thủng nên kiềm lọt vào).

### *Ăn mòn lỗ*

Ăn mòn cục bộ dẫn đến tạo thành các lỗ nhỏ có miệng lỗ hở hoặc bị bịt kín. Ăn mòn cục bộ trong nồi hơi có thể xảy ra khi một vùng rộng của lớp oxyt bảo vệ bị những khuyết tật nhỏ dưới tác động cơ học hoặc hóa học. Khi đó, nếu nhìn toàn bộ bề mặt thì có vẻ hoàn toàn tốt nhưng thực chất, sự tấn công cục bộ có thể đã xuyên thủng bề mặt và gây nên rò rỉ. Dạng điển hình của ăn mòn lỗ là ăn mòn oxy đối với thép cacbon (miệng mở), sự tấn công của  $\text{in Cl}^-$  đối với thép không gỉ austenit (miệng kín), ăn mòn đồng trong dung dịch trung tính có hàm lượng sunfat cao (miệng kín), sự kết tủa các kim loại dương hơn trên nền sắt, ăn mòn nhôm hoặc kẽm trong dung dịch trung tính hoặc axit (miệng hở).

## **Ăn mòn nứt/Ăn mòn dưới lớp cặn**

Ăn mòn nứt chủ yếu gây nên bởi ăn mòn tiếp xúc do chênh lệch nồng độ tại các khe nhỏ hoặc các vết nứt, ví dụ dưới lớp oxyt, khe của các miếng đệm, các ốc vít lắp ráp v.v... do sự khác nhau về điều kiện hóa học bên trong lòng và bên ngoài khe.

Ăn mòn nứt thường là nguyên nhân ban đầu dẫn đến ăn mòn lỗ đối với thép không gỉ, nếu như lớp oxyt ở mối hàn không được làm sạch đầy đủ.

Ăn mòn do đóng cặn cục bộ hầu hết đều liên quan đến dạng ăn mòn khe vì điều kiện thông khí bên dưới lớp cặn và xung quanh nó là khác nhau.

Cả hai dạng ăn mòn nói trên đều xảy ra chủ yếu là do sự khác nhau về nồng độ oxy: thấp - bên trong khe/dưới lớp cặn, cao - bên ngoài khe/xung quanh vùng cặn.

#### 4.1.1 Carbon Steel and Cast Iron/Steel

Pure iron is too soft for technical constructions and became therefore alloyed with various elements. Most common alloying element is carbon to increase strength and harden ability. In cast iron, the carbon content may rise up to 5 %. Other common alloying elements for low- alloyed steel are aluminium, chromium, copper, manganese, molybdenum, nickel, nitrogen, phosphorous, silicon, vanadium and tungsten (wolfram).

As far as the content of these alloying elements do not exceed 8-10% (some contents are much lower), their corrosion behaviour is basically same if oxygen (air) and water (moisture) of the atmosphere is present. The corrosion resistance of weathering steels is up to 5 times better than other carbon steel, but all the low alloyed steels became not passive on humid air - in contrast to the higher alloyed stainless steels. In air and in presence of humidity above 60 %, these types of steel corrode (rust) by formation of iron oxide-hydrates (yellow brown) or iron oxide (simplified hematite, dark brown). This type of corrosion is called atmospheric corrosion or oxygen corrosion.

Most constituent of low-alloyed (ferritic) steels are added to obtain specific mechanical properties, such as high strength, temperature resistance, hydrogen resistance, harden ability, low temperature applicability etc. and have only limited influence to its corrosion resistance. Exception is an elevated chromium content that result in significant better resistance to oxidation at elevated temperatures and erosion corrosion (FAC).

Khả năng chống ăn mòn của thép cacbon và thép hợp kim thấp phụ thuộc rất nhiều vào sự hình thành và duy trì lớp ôxyt từ bảo vệ. Lớp oxxyt này bao gồm chủ yếu là magnetite và hematite và dễ bị hòa tan trong môi trường axit, thậm chí cả axit yếu ở nhiệt độ thường (trừ axit sunfuric >90%) và trong dung dịch kiềm mạnh ở nhiệt độ cao.

Trong nước giá trị pH tối ưu là 9.5 -11.5 tùy thuộc vào nhiệt độ

pH trong khoảng 12 - 12,5 ở nhiệt độ phòng sẽ giữ cho thép thụ động khi có mặt ôxy, nhưng trong môi trường có độ dẫn cao (>1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) thì ăn mòn lỗ có thể xảy ra

Thép cacbon thấp nhạy với gãy ăn mòn do ứng lực khi chịu một ứng suất kéo cao (gần giới hạn chảy) khi có mặt kiềm, ví dụ >4% dung dịch NaOH, đặc biệt là ở nhiệt độ cao. Dung dịch nitrat ở pH axit (ví dụ nước ngưng tụ bên lửa) cũng gây SCC.

Thép cacbon và thép hợp kim thấp được dùng rộng rãi để chế tạo các chi tiết thiết bị nội hơi. Thép cacbon có thể sử dụng đến nhiệt độ 400 °C, ở nhiệt độ cao hơn 540 °C, người ta thường dùng thép hợp kim có chứa Mo và Cr. Đối với bộ quá nhiệt và bộ ổn nhiệt các thép hợp kim với hàm lượng Cr cao hơn có thể chịu được tới 560-600 °C. Ở nhiệt độ cao hơn nữa cần sử dụng các thép austenit có chứa Ni-Cr hoặc thép duplex

### Thép không gỉ

Thép không gỉ được dùng rộng rãi cho các vật liệu kết cấu chịu ăn mòn cao. Nhóm vật liệu này bao gồm nhiều loại hợp kim khác nhau được chế tạo cho các ứng dụng riêng biệt. Tất cả các loại thép không gỉ đều không bị ăn mòn trong môi trường khí quyển bình thường nhưng không phải là hoàn toàn bền ăn mòn trong mọi điều kiện

Độ bền ăn mòn của thép không gỉ là có một màng ôxyt được hình thành ngay lập tức khi tiếp xúc với không khí/ôxy trong môi trường ẩm hoặc môi trường ôxy hóa. Màng thụ động này chứa ôxyt crôm và ôxyt sắt và rất mỏng, thường không nhìn thấy bằng mắt thường trừ khi nung nóng ở >300°C. Trong môi trường ion Cl<sup>-</sup> đặc biệt trong môi trường axit màng thụ động này bị phá hủy và dẫn đến ăn mòn lỗ. Dạng ăn mòn này sẽ trở nên nghiêm trọng khi trên một diện tích rộng của màng thụ động có một số khuyết tật với diện tích rất nhỏ. Ví dụ, đường hàn không chất lượng và các vảy hàn không được làm sạch kỹ càng.

Lớp ôxyt màu xanh và màu đen tại môi hàn phải được ngăn chặn bằng cách dùng khí trơ hoặc loại bỏ cơ học hoặc tẩy trong hỗn hợp axit HF-HNO<sub>3</sub> để chống ăn mòn lỗ.

Tất cả thép không gỉ đều bền ăn mòn oxy ở nhiệt độ cao tới 700 °C nhưng chúng có độ bền kéo thấp vì hàm lượng cacbon thấp. Thép mactensit và thép duplex có độ bền cao hơn.

Thép austenit chứa ít nhất từ 6-26% Cr 6-22 % Ni với các hàm lượng c khác nhau.

- Thép cacbon thấp (< 0.04 % C) có độ bền thấp nhưng rất dễ hàn

*Austenitic stainless steels* contain at least 16-26 % chromium and 6-22 % nickel with different carbon content.

Thép có hàm lượng cacbon  $\geq 0.04$  % C không có các nguyên tố hợp kim hóa Ti, Nb hoặc Ta có thể rất nhạy cảm khi hoạt động trong một thời gian dài ở nhiệt độ 450-800 °C do hàn thiếu kinh nghiệm hoặc do xử lý nhiệt. Sự nhạy nhiệt đó dẫn đến sự tạo thành cacbit crôm trên biên hạt và làm cho crôm thoát ra ở vùng kề biên hạt và kết quả là xảy ra sự ăn mòn giữa các biên hạt trong một trường xâm thực.

Sự nhạy nhiệt này có thể tránh được nếu hàm lượng C < 0,04% (thép cacbon thấp) hoặc tăng độ bền nhiệt bằng cách thêm vào một lượng đủ lớn Ti, Nb hoặc Ta. Để hàn thép austenit bền nhiệt thì vật liệu hàn cũng cần là vật liệu bền nhiệt với sự có mặt của Nb.

Thép không gỉ austenit rất bền ăn mòn với axit nitric hoặc các axit yếu khác, dung dịch trung tính, dung dịch kiềm yếu và các hóa chất có tính ôxy hóa miễn là trong các dung dịch đó không chứa quá nhiều các hợp chất của clo, brom, iốt.

Thép không gỉ austenit rất nhạy với ăn mòn lỗ và ăn mòn ứng lực gây nên bởi clo, brom, iốt, thậm chí cả khi chịu một ứng lực kéo thấp (ví dụ ở mối hàn), đặc biệt là khi nhiệt độ > 50°C, tuy nhiên hư hỏng cũng có thể xảy ra ở nhiệt độ thấp hơn. Tăng hàm lượng molipden trong thép sẽ làm giảm sự nhạy ăn mòn lỗ và ứng lực như trên. NaOH hàm lượng > 4% sẽ gây nên ăn mòn ứng lực khi vật liệu chịu ứng suất trung bình và cao. Thép austenit hợp kim hóa cao sẽ bền ăn mòn với các axit mạnh như axit sunfuric và photphoric khi không có một lượng quá lớn ion Cl<sup>-</sup>.

Thép không gỉ ferit chứa 12-30% Cr với hàm lượng C < 0,2%

*Ferritic stainless steels* contain 12-30 % chromium with carbon content < 0.2 %. Các hợp kim này có tính dẻo và độ bền lớn nhưng khi hàn và xử lý nhiệt cần phải cẩn thận để tránh nứt “nóng”. Các loại thép này có trạng thái ăn mòn tương tự thép austenit nhưng bền ăn mòn ứng lực khi có mặt clo, brom, iốt trong một khoảng rộng hơn.

### **Stress Corrosion Cracking (SCC),**

Sự hình thành vết nứt (trên biên hạt hoặc xuyên hạt tùy thuộc vào kim loại, môi trường và ứng suất) trong sự có mặt đồng thời của kim loại nhạy với SCC, môi trường có khả năng

gây SCC và ứng suất kéo. Ứng suất này có thể được tạo nên trong quá trình chế tạo, gia công nguội, hàn hoặc vận hành. Hầu hết SCC đều phải trải qua một thời gian “ủ bệnh” vài giờ hoặc vài ngày, nhưng vết nứt thì lan truyền rất nhanh.

Các trường hợp điển hình dẫn đến SCC là:

- Thép không gỉ austenit trong môi trường ion  $\text{Cl}^-$  ngay khi chịu một ứng suất kéo thấp
- Đồng thau trong hơi ammoniac hoặc dung dịch chứa ion amôni.
- Thép cacbon trong dung dịch  $>4\%$  NaOH chịu ứng suất kéo cao (giòn kiềm).

Hầu hết SCC trên thép không gỉ austenit và đồng thau đều bắt đầu từ những lỗ ăn mòn rất nhỏ trên bề mặt hoặc ở những khuyết tật trên lớp bảo vệ.

Ăn mòn ứng lực dẫn đến: các vết nứt hình nhánh cây theo biên hạt.

Trong những điều kiện đặc biệt, vết nứt xuyên hạt cũng có thể hình thành

### 3.7 Stress Corrosion Cracking (SCC)

Gãy ăn mòn do ứng lực chỉ xảy ra khi có mặt đồng thời 3 yếu tố sau đây:

- Kim loại nhạy SCC,
  - Môi trường có thể gây SCC đối với kim loại đó và
  - Ứng suất kéo (tạo nên trong quá trình chế tạo, gia công nguội, hàn hoặc vận hành)
- nếu thiếu một trong ba yếu tố trên thì SCC không xảy ra

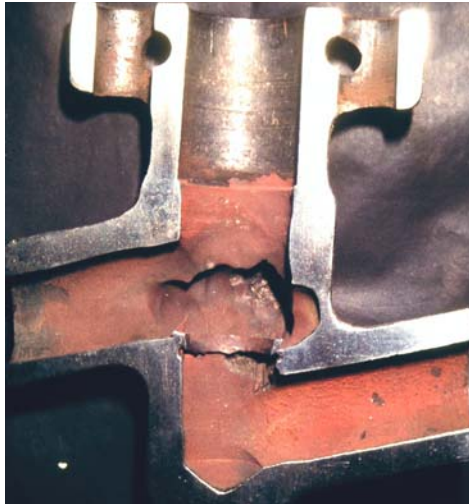
Các trường hợp điển hình

- Thép không gỉ austenit, đặc biệt là thép Cr-Ni không chứa Mo trong môi trường  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ , đặc biệt là ở pH thấp, nhiệt độ  $> 50^\circ\text{C}$ , SCC xảy ra ngay ở ứng suất thấp.
- Thép không gỉ austenit hoặc ferit trong môi trường NaOH  $> 4-70\%$  ở nhiệt độ cao
- Thép cacbon trong môi trường NaOH  $> 4-70\%$  (giòn kiềm) ở ứng suất kéo cao (gần với điểm bền chảy) và nhiệt độ cao
- Thép cacbon trong dung dịch chứa nitrat hàm lượng cao với pH ở vùng axit
- Đồng thau trong hơi ammoniac hoặc dung dịch chứa ion amôni, ngay khi chỉ có vết.

SCC điển hình đều phải trải qua một thời gian “ủ bệnh” vài giờ đến vài tuần, tùy thuộc vào điều kiện môi trường (ứng suất và nồng độ dung dịch) dẫn đến giòn đột ngột hầu hết là do nứt trên biên hạt và vết nứt lan truyền rất nhanh.

- Ăn mòn mài mòn hoặc ăn mòn do dòng chảy (FAC) và ăn mòn xói mòn (cavitation) cả hai đều chủ yếu chịu ảnh hưởng của điều kiện dòng chảy.

FAC có thể quan sát thấy chủ yếu trong bơm và cánh bơm cũng như trong ống nước và van do kết quả của pH quá thấp kết hợp với dòng chảy tốc độ lớn, xem hình 7.



Hình 7. Ăn mòn mài mòn trong một khối van hơi được dùng như van điều chỉnh .

Ăn mòn xói mòn là kết quả của sự tạo bong bóng hơi và sự nổ tiếp theo hướng vào thành ống của chúng (có thể nghe thấy rõ rệt). Ví dụ như trên đỉnh ống ngưng chứa hỗn hợp nước ngưng và hơi, xem hình 8, hoặc bơm đang vận hành trong nước nóng hoặc áp suất nâng lên tại đầu vào của bơm đều thấy rõ vấn đề này.



Hình 8. Ăn mòn xói mòn trên đỉnh ống (vị trí 12h) của ống ngưng hồi lưu.

### **Sắt và đồng**

Hợp chất sắt trong BFW đã kiềm hoá có thể bị hoà tan (ví dụ trong trường hợp ăn mòn hoặc ăn mòn mài mòn do dòng chảy [FAC] trong đường ống cấp nước cho nồi hơi) và không bị hoà tan ở dạng hạt ôxit nhỏ.

Trong môi trường kiềm nóng của BW, hầu hết hợp chất sắt tồn tại dưới dạng các hạt ôxit không tan vì dòng nước tuần hoàn đã làm cho pH và nhiệt độ của BW lớn hơn của BFW.

Ngược lại với sắt, phần lớn hợp chất của đồng hoà tan trong nước, đặc biệt là khi có mặt amoni và amin.

Giới hạn hàm lượng của cả hai nguyên tố này chỉ được đưa ra cho BFW bởi vì đối với BW sẽ rất khó để lấy được mẫu nước thực sự đại diện mà trong đó có cả những hạt nhỏ không tan. Thành phần của chúng trong nước BW dao động mạnh, nó phụ thuộc vào phụ tải nồi hơi hoặc sự thay đổi áp suất và điều kiện lấy mẫu (ví dụ: vật liệu làm ống, tốc độ dòng chảy, sự khuấy, sự sục nước□)

### **ăn mòn mài mòn/ăn mòn do dòng chảy (Flow Assisted Corrosion - FAC)**

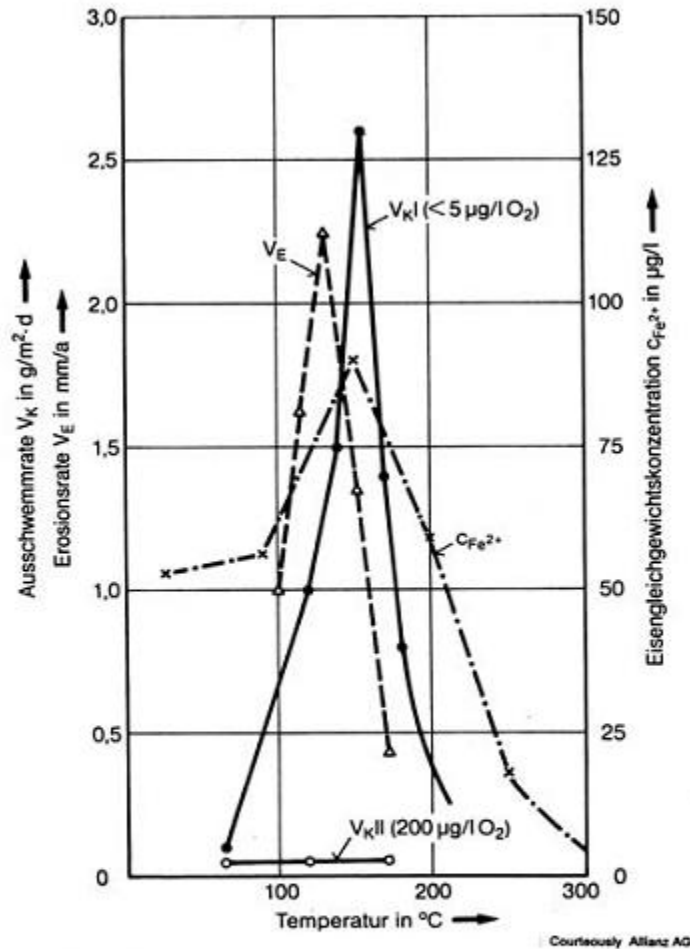
ăn mòn mài mòn hay ăn mòn do dòng chảy xảy ra khi có một môi trường nước hoặc khí (ví dụ như không khí, khí nhiên liệu, hơi) chuyển dịch với tốc độ lớn, làm mất đi lớp bảo vệ (đã hoàn thiện hoặc mới tạo thành) nhanh hơn việc tạo

thành lớp này. Những dòng chảy có hai pha như: khí và tro, nước và cát, hơi và các giọt nước nhỏ, nước và những bọt khí (hơi) là những môi trường rất nguy hiểm. Môi trường nước - hơi (hai môi trường sau cùng) có thể là nguyên nhân gây nên hư hỏng do va đập cộng hưởng hoặc tạo lỗ giống như phun cát.

Thép sẽ bị ăn mòn mài mòn trong môi trường kiềm yếu ( $\text{pH} < 8,5 - 9$ ) khi tốc độ dòng chảy  $> 8 - 10 \text{ m/s}$ , đặc biệt là ở nhiệt độ khoảng  $150^{\circ}\text{C}$  và không có oxy. Tăng pH và khống chế nồng độ oxy khoảng  $15 - 30 \text{ ppb}$  sẽ làm giảm nguy cơ phá hủy do FAC (hình 8). Tăng thành phần Cr trong vật liệu cũng làm giảm tác hại của FAC (hình 9).

Các kim loại dễ bị tác động của ăn mòn mài mòn là những kim loại có lớp bảo vệ mềm như đồng và nhôm. Khi đồng và nhôm làm việc trong môi trường không khí ẩm thì tốc độ ăn mòn chung của chúng là từ  $0,1 - 0,2 \text{ mét văng năm}$  và  $< 1,6 - 1,8 \text{ m/s}$ .

BỘ MẪU BẢO MẬT MÔI TRƯỜNG TỰ ĐỘNG ĐÈI BĂNG, KHÔNG CẢ SẪN PHẪM MÔI TRƯỜNG VÀ CẢ NHỮNG MẪU PHẪNG (CÁC TRỌNG TRỌNG GIỀNG NH- CẢN C, T).

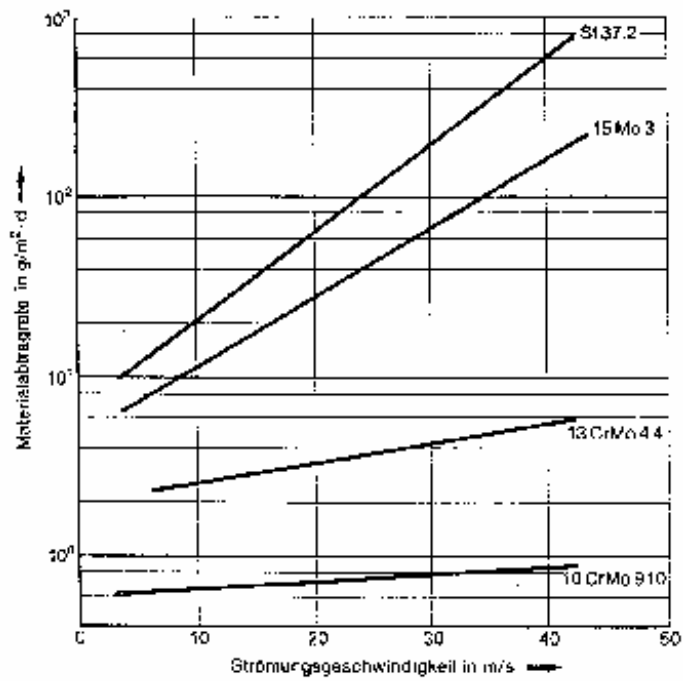


**Temperature dependence**

- a) of the release-to-system rate  $v_k$  of carbon steel in deionized water at a pH of 8.5 ( $\text{NH}_3$ ) with and without oxygen dosing (solid line), source: [9];
- b) of the erosion rate  $v_E$  of carbon steel in deionized water at a pH of 9.05 and  $c(\text{O}_2) < 0.006 \text{ mg/kg}$  (dashed line), source: [21];
- c) of the calculated ferrous ion concentration  $c(\text{Fe}^{2+})$  in deionized water at a pH of approx. 8.7 ( $\text{NH}_3$ ) in equilibrium with magnetite at a hydrogen partial pressure of 1 bar (dotted-and-dashed line), source: [22].

**H×nh 8. Ảnh h-ëng của nhiÖt ®é ®Ön:**

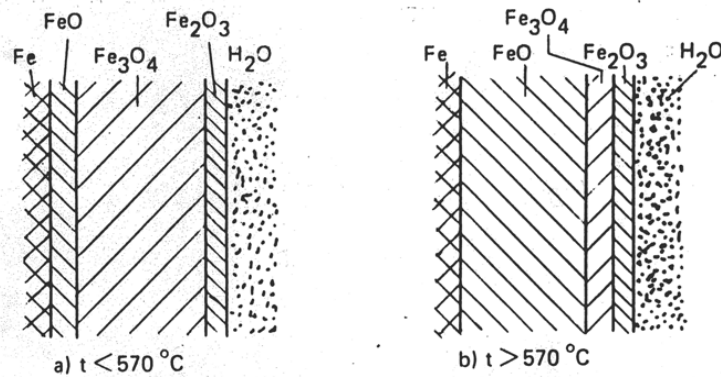
- a) Tèc ®é tæm hao thÐp c,cbon  $V_K$  trong n-íc khö ion t'i pH 8,5 ( $\text{NH}_3$ ) khi cũ «xy vµ kh«ng cũ «xy (®-ëng liÖn nÐt).
- b) Tèc ®é mụi mßn thÐp c,cbon  $V_E$  trong n-íc khö ion t'i pH 9,05 vµ n¸ng ®é «xy  $c(\text{O}_2) < 0,006 \text{ mg/kg}$  (®-ëng ®øt nÐt).
- c) N¸ng ®é  $\text{Fe}^{2+}$  tÝnh to,n trong n-íc khö ion ë pH kho¶ng 8,7 ( $\text{NH}_3$ ) c©n b¸ng vµ magnetite khi ,p suÊt riªng của hy®r« lµ 1 bar (®-ëng nÐt ®øt cũ chÊm).



Influence exerted by rate of flow on the loss of material through erosion corrosion ( $p = 40 \text{ bar}$ ,  $\tau = 180^\circ \text{ C}$ ,  $\text{pH} = 7$ ,  $c(\text{O}_2) \leq 0.05 \text{ mg/kg}$ )

**Hình 9.** Ảnh hưởng của tốc độ dòng chảy đến tổn thất vật liệu do ăn mòn trong quặng sắt trong môi trường ( $p = 40 \text{ bar}$ ,  $\tau = 180^\circ \text{ C}$ ,  $\text{pH} = 7$ ,  $c(\text{O}_2) \leq 0,05 \text{ mg/kg}$ ).

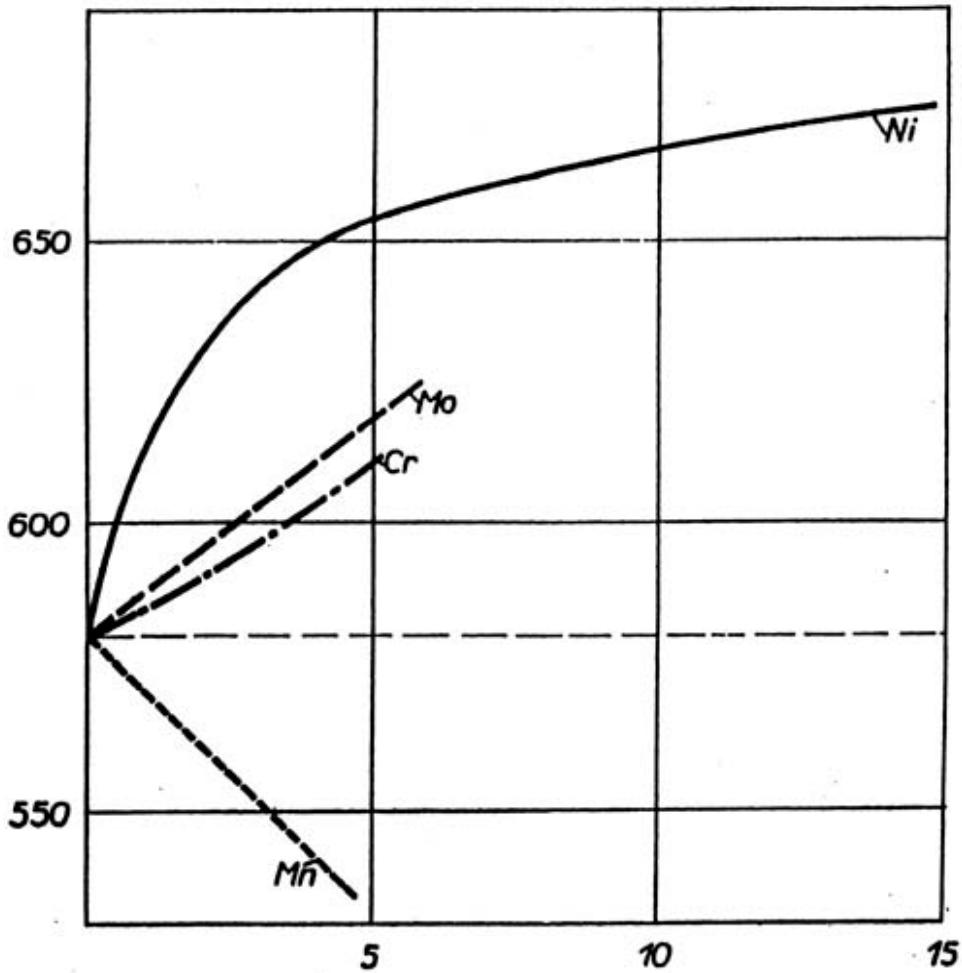
Mét nải h-i cũ thiỐt kỔ tèt sĩ ®t tuæi thã tòi ®a khi vµ chØ khi thĐp nải h-i cũ kh¶ n'ng t'ò thũnh vµ duy tr× mét líp «xit s³/4t máng cũ kh¶ n'ng b¶o vŔ (chÝnh x,c lµ gãm ba líp «xit kh,c nhau) cũ thũnh phÇn chÝnh lµ magnetite Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(h×nh 1a & 2). Mét líp magnetite cũ tÝnh chÊt b¶o vŔ thùc sù ph¶i cũ cÊu t'ò r³/4n ch³/4c, gÇn nh- kh«ng cũ lç rç vµ b,m ch³/4c vµo bÒ mÆt kim lo'i.



Heterogen sequence of iron oxyde layers on low alloyed steel in steam depending on temperature (a) < 570 °C, (b) > 570 °C.

H×nh 1. Líp hçn híp cũa «xit s³/4t trªn bÒ mÆt thĐp híp kim thÊp trong h-i phó thùc vµo nhiỐt ®é: (a)- <570<sup>0</sup>C; (b)- >570<sup>0</sup>C.

Temperatur °C



Legierungsgehalte (Gew.-%)  
Alloy content (Wgt.%)

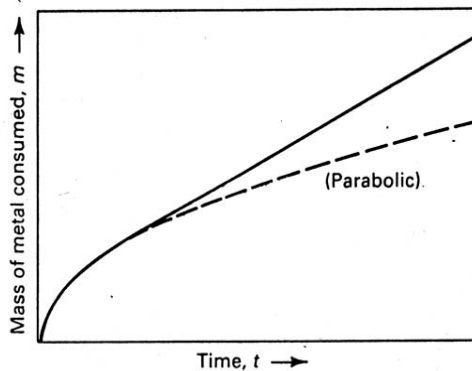
Einfluß von Legierungselementen des Eisens auf die Temperatur der Wüstitbildung im Zunder.

Influence of alloying elements of steel to the temperature of Wustite (FeO) formation in Mill scale

H×nh 2: Ảnh h-ëng của c, c nguyên t-ê h-íp kim ho, thĐp ®Ön nhiÖt ®é t'o th×nh

FeO trong v×y c, n

Chiều dày của lớp magnetite phụ thuộc vào loại vật liệu, nhiệt độ, lượng nước và thời gian vận hành. Ng-êi ta tính toán sau 100.000 giờ (khoảng 12 năm) bán phía nội hoặc phía ngoài, để vật thép hợp kim thép (2<sup>1</sup>/<sub>4</sub> Cr1Mo) ở nhiệt độ thường khoảng 350<sup>0</sup>C (áp suất khoảng 125 bar) sẽ hình thành lớp magnetite cả chiều dày từ 10 - 15 μm, ở nhiệt độ 500<sup>0</sup>C - khoảng 350 μm (hình 3 và hình 1). Ở điều kiện tương tự, trên bề mặt thép cacbon thường (ví dụ thép 35.8) lớp magnetite cả chiều dày lớn hơn gấp 10 - 20 lần. Một lớp oxit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> cả chiều dày 300 μm nằm trên bề mặt trong của ống sinh ra sẽ làm nhiệt độ thường tăng lên từ 30 - 40<sup>0</sup>K.



Parabolic and para-linear oxidation of low alloyed steel in oxygen or steam.

Oxidation laws:  $d^2 = K_s \cdot t$        $T = ^\circ K, t = \text{hrs}, d = \text{mm}.$

$K_s =$  Oxidation rate constant in steam.  $\text{Log } K_s = (-9856 : T) + 5.222$

*Applicable up to 550<sup>0</sup>C only!*

Hình 3: Quan hệ giữa tốc độ hao trắng lớp thép hợp kim thép ở «xy ho, trong môi trường «xy ho hoặc trong hơi nước theo quy luật hàm parabol» - tùy theo tính (chỗ áp dụng cho vùng nhiệt độ ≤ 550<sup>0</sup>C)

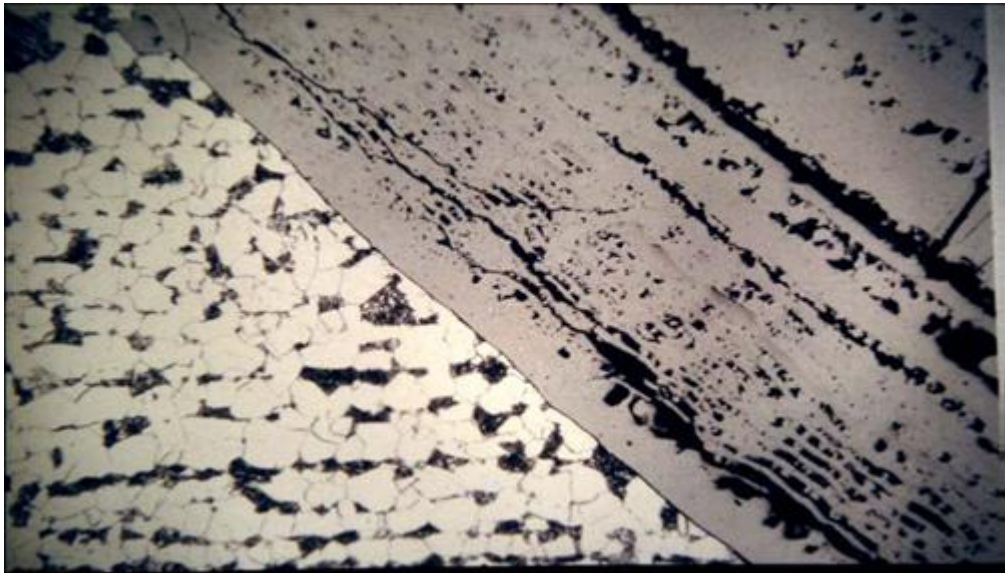


**Ảnh 1**

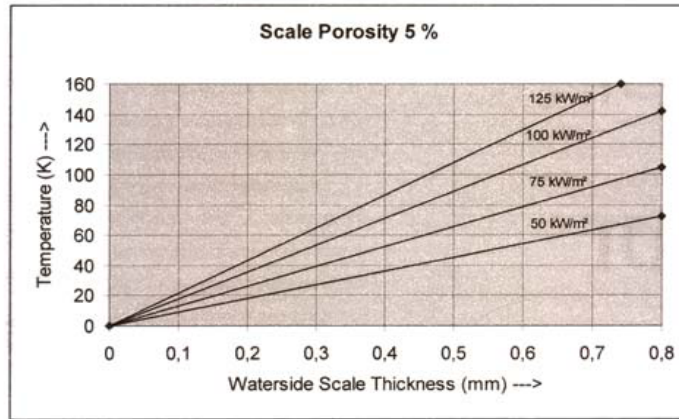
Lớp bề mặt vỏ sứt chæt(  $\text{R} \text{é} \text{r} \text{ç} < 5\%$ ) g©y ¶nh h-ëng kh«ng ®,ng kÓ ®Õn sù trao ®æi nhiÖt nÕu nh- chiÒu dµy cña nã kh«ng v-ít qu, 0,2 - 0,3 mm (tuú thuéc vµo dßng nhiÖt), tuy nhiªn nÕu lớp oxit cũ ®é xèp lín h-n, hoÆc bÞ t, ch lớp th× sã g©y ¶nh h-ëng tíi nhiÖt ®é thµnh èng (h×nh 4). Mét lớp magnetite máng cũ tÝnh chÊt bề mặt vỏ lµ mét lớp “vÈy” tòi cÇn thiÖt nh-ng ph¶i víi ®iÒu kiÖn lµ nã kh«ng bÞ trón lén c,c l¼ng ®äng tõ BW! Lớp s¶n phÈm ìn mßn s¾t cũ ®é xèp lín - xem ¶nh 2, lớp s¶n phÈm ìn mßn bÞ t, ch lớp - xem ¶nh 3.



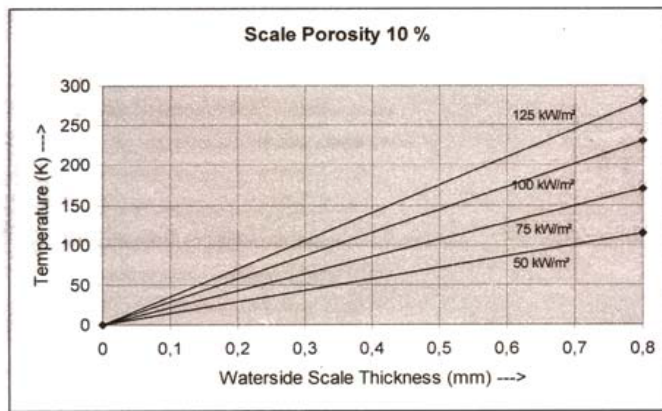
*Ảnh 2*



*Ảnh 3*



Boiler Wall Temperature Elevation by Scale of Different porosity depending on Heat Transfer  
 Courtesy Babcock Power



Hình 4. Sự phân bố của nhiệt độ trên bề mặt ống theo độ dày lớp cặn có các hệ số khác nhau: a) 5%; b) 10%