INTERCORR 2008
28° Congresso Brasileiro de Corrosão
2nd International Corrosion Meeting
Mar Hotel, Recife / PE • 12 a 16 de maio de 2008

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Enxofre Elementar em Sistemas de Transporte de Gás Natural

Milagros Guillen Núñez[1], Denise S. de Freitas [2], Caetano Moraes[3], Jussara de Mello Silva[4]

Resumo:

A presença de "enxofre elementar" em gás natural pode causar sérias conseqüências para a produção, processamento, operação e transporte de gás. A geração deste composto pode ocorrer em uma variedade de condições de operação, influenciadas pela composição do gás, tipos de aditivos usados nas tubulações (como glicóis e odoríferos), condições internas das tubulações, parâmetros operacionais e, particularmente, nas condições de redução de pressão em determinados trechos da linha. As moléculas presentes no gás natural que contêm enxofre são bastante conhecidas e têm sido rastreadas principalmente na forma de sulfeto de hidrogênio (H_2S), sulfeto de carbonila (COS) e mercaptans (RSH). Durante muitos anos o enxofre elementar não podia ser identificado, pois aparecia misturado ao "pó preto", além disto, os compostos de enxofre são capazes de reagir com substâncias orgânicas e inorgânicas em diversas formas moleculares e, assim como o nitrogênio, possui um grande número de estados de oxidação. Isto significa que o ciclo do enxofre é quimicamente complexo. Um elemento deste ciclo é o enxofre elementar (S_8), onde sua cinética de formação a partir de outras substâncias não é bem conhecida. Em gasodutos, o depósito do enxofre elementar pode ocorrer através de reações químicas ou devido à de-sublimação, que ocorre quando o vapor de enxofre presente no gás natural é convertido ao estado sólido devido a uma série de mecanismos no sistema de tubulações. O enxofre elementar em contato direto com a tubulação é muito corrosivo, podendo, quando associado à níveis de tensão, promover o trincamento do material por SSC ou SOHIC. O objetivo deste trabalho é tentar compreender os mecanismos de formação do enxofre elementar em tubulações de gás natural e avaliar sua corrosividade em presença de gás condensado.

Palavras-chave: Enxofre elementar, Gás natural, Sulfeto de hidrogênio**,** Corrosão.

1. Introdução

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

O gás natural, sob todas as formas, é a energia mais segura, e os índices de mortes e acidentes são mais baixos que quaisquer outras fontes de energia. O gás natural tem um amplo espectro de aplicações. Tem sido utilizado principalmente como combustível industrial, comercial, domiciliar e residencial, e na recuperação secundária de petróleo em campos petrolíferos, através de sua reinjeção. Também é utilizado como matéria-prima nas indústrias petroquímica (plásticos, tintas, fibras sintéticas e borracha) e de fertilizantes (uréia, amônia e seus derivados), e para redução do minério de ferro na indústria siderúrgica.

O grande problema na utilização de gás está normalmente relacionado a impurezas (tais como, o sulfeto de hidrogênio, o vapor de água e o sulfeto carbonilo), as quais podem ser introduzidas no sistema durante o transporte ou devido à formação de condensados. Existem também processos adversos que podem facilitar a formação de novas impurezas, como o enxofre elementar. Este é um tipo de impureza (pó sólido) que pode ser formado por processos físico-químicos ou reações químicas e provoca uma série de problemas na produção, processamento e nos sistemas de distribuição.

2. Enxofre elementar no gás natural

As informações sobre os precipitados de enxofre elementar nos sistemas de transporte de gás natural são relativamente recentes, Pack(1) listou os lugares mais comuns onde o precipitado de enxofre elementar é formado (exemplo Figura 1). Este precipitado é mais comumente encontrado em equipamentos onde existe uma significante redução de pressão, e conseqüentemente redução da temperatura, como os *nozzles*.

Wilkes e Pareek(2) observaram o depósito de enxofre elementar perto das válvulas de controles das turbinas de gás. Chesnoy e Pack(3) descreveram a formação deste depósito num *nozzle* instalado numa linha conectada a um gasoduto.

Os precipitados de enxofre elementar já foram reportados como problemas nos poços de produção. Hynce(4) chegou à conclusão que não existe um fator único que possa servir para explicar a deposição do enxofre, assim ele propôs vários fatores que ajudam na deposição nos poços de gás tais como: a composição do gás, gradiente de temperatura e pressão, entre

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

o fundo e o topo da coluna de produção. Wilkem[5] e Gareau[6] estudaram os problemas do precipitado do enxofre elementar na região de fundo de coluna de produção.

Figura 1: "Enxofre elementar" depositado num regulador de pressão

O enxofre elementar não só pode provocar falhas nos instrumentos de medição, ou danos nas pás de turbinas pela passagem de partículas sólidas de enxofre, mas também é capaz de gerar sérios problemas de corrosão, daí a importância em conhecer os mecanismos de formação do enxofre elementar para tentar prevenir sua formação e os mecanismos de corrosão associados a ele. Para compreender melhor os principais mecanismos da formação do enxofre elementar, é importante entender as propriedades físico-químicas do elemento enxofre.

3. Características do enxofre

O enxofre é um elemento de número atômico 16, o segundo no Grupo IV da tabela periódica, e é não metálico. Depois do carbono e hidrogênio, o enxofre é o terceiro constituinte atômico mais abundante nos óleos crus.

Como agente oxidante o enxofre é capaz de se combinar com outros elementos para formar sulfetos, utilizando o número de valência -2. O enxofre também pode ser oxidado, usando o número de valência +4 e +6 e produzir compostos como dióxido de enxofre (SO_2) e trioxido de enxofre (SO_3), o qual reage com a água para produzir ácidos. Como encontrado

---

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

na natureza, o enxofre apresenta um peso atômico de 32,066[7].

O enxofre é um elemento fascinante pela variedade de possíveis estruturas moleculares e porque pode reagir com substâncias orgânicas é inorgânicas.

Estado sólido

O enxofre é um sólido amarelo à temperatura ambiente (Figura 2), mas pode ficar mais claro para temperaturas menores. Várias formas cristalinas e amorfas, as quais se diferenciam pela solubilidade em disulfeto de carbono e outros solventes, têm sido reportadas. Muitas destas são metaestáveis, voltando para a forma estável em curtos períodos de tempo.

Figura 2: Enxofre, mostrado no "Museo Don Felipe de Borbón e Grecia - ETSI de Minas", Madrid

O enxofre rômbico, ou S_α, é a forma mais estável e todas as outras modificações alotrópicas cambiam para S_α na temperatura abaixo de 368,15 ^oK. O S_α é insolúvel em água e tem baixa condutividade elétrica e térmica, mas é solúvel em disulfeto de carbono (35.5g/100g de solvente a 298,15°K)[8].

O enxofre monoclínico, ou S_β, é estável nas temperaturas entre 368,15^oK e 391,15^oK, onde as outras forma cristalinas podem mudar para esta forma nesta faixa de temperatura[8].

O diagrama de fases é apresentado na Figura 3, na forma qualitativa e mostra a relação que existe entre enxofre rômbico, monocíclico, líquido e vapor em função da temperatura e pressão.

---

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

A linha entre os pontos triplos 368,7°K, 0,5 Pa.g e 427,2°K, 130,5 KPa.g representa a transição cristalina do enxofre rômbico para o enxofre monocíclico, a linha dos pontos triplos 392,5°K, 2,394 Pa.g e 427,2°K, 130,5 KPa.g representa a curva do ponto de fusão do enxofre monocíclico (sólido para líquido).

Quando o enxofre rômbico é aquecido muito rapidamente, a transição para o estado líquido é possível, sem passar pelo enxofre monocíclico, assim um quarto ponto triplo aparece formando uma nova linha entre o ponto triplo 392,5°K, 2,394 Pa.g e 427,2°K, 130,5 KPa.g[(7)].

Nas condições de operação dos sistemas de transporte de gás natural o "enxofre elementar" formado é o enxofre rômbico, com 8 moléculas de enxofre, assim referido como S_8, ou "enxofre ortorrômbico" (Figura 4). O enxofre elementar é termodinamicamente estável nas condições normais de operação dos dutos.

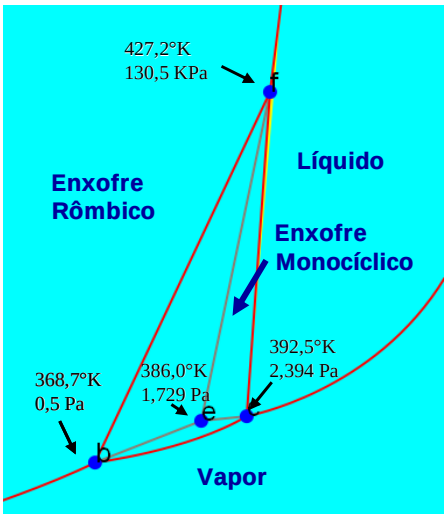


Figura 3: Diagrama de fases simplificado do enxofre

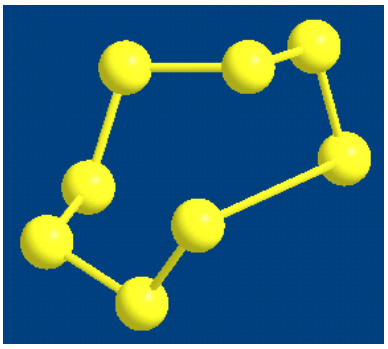


Figura 4: Estrutura ortorrômbica, S_8

4. Mecanismos de formação

A formação do enxofre elementar nos sistemas de produção já é conhecida há muito tempo, entretanto nos sistemas de transporte e distribuição está sendo estudado apenas

---

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

recentemente. Este enxofre elementar é conhecido como "pó amarelo" e se encontra muitas vezes misturado, com o "pó preto", resíduo formado por diversos produtos de corrosão, tais como óxidos, sulfetos e carbonatos de ferro, dentre outros. Os principais mecanismos de formação encontrados na teoria são as reações químicas e a de-sublimação[1, 9, 10, 11].

O mecanismo proposto por Hyne e Muller[9] para a formação de enxofre elementar é:

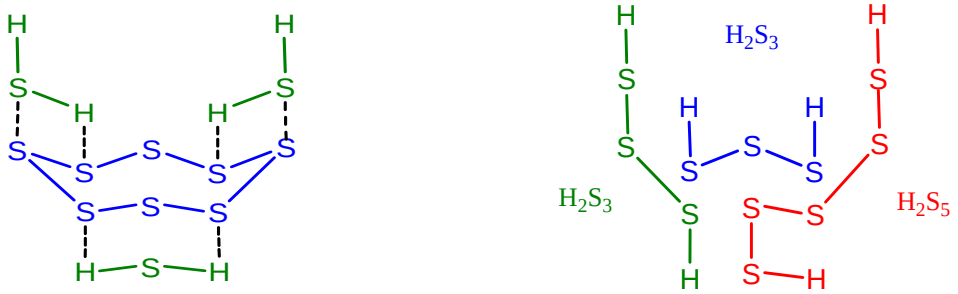
$$H_2S_{(g)} + \mathbf{S}_{x(v)} \Leftrightarrow H_2S_x^{-1} \qquad \textbf{(i)}$$

$$\Downarrow$$

$$S_{8\ (l)\ ou\ (s)}$$

Eles encontraram evidências espectroscópicas da sua formação. Esta reação é endotérmica e a formação de polisulfetos (de esquerda à direita) é favorecida em sistemas de temperaturas e pressões maiores.

Este mecanismo é reforçado por outros autores como Clarck e Davis[10], os quais mostraram que existe uma relação entre os processos físicos e químicos. O processo físico representado na Figura 5a envolve a solvatação de uma molécula de ciclooctasulfeto (S_8) pela espécie de sulfeto de hidrogênio (H_2S) presente no gás. A variação de temperatura, pressão e fração molar do H_2S afetaram o equilíbrio entre o enxofre livre e o complexo solvatado (H_2S), provocando um rearranjo dos átomos e favorecendo a formação dos polisulfetos (Figura 5b). O processo químico proposto é a reação reversível entre o sulfeto de hidrogênio e o enxofre elementar para produzir polisulfetos de hidrogênio.



(a) Interação Física: Solvatação da molécula de S_8 (b) Reação química: Formação de polisulfetos

Figura 5: Mecanismo proposto para a formação do enxofre elementar[10]

---

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

INTERCORR 2008
28° Congresso Brasileiro de Corrosão
2nd International Corrosion Meeting
Mar Hotel, Recife / PE • 12 a 16 de maio de 2008

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

A presença de enxofre elementar em sistemas contendo H_2S pode também ser associada com a oxidação do H_2S pelo ar ou óxidos como, por exemplo, o oxido de ferro:

$$2H_2S + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2\mathbf{S} \qquad \textbf{(ii)}$$

$$3H_2S + 2FeO(OH) \rightarrow 2FeS + \mathbf{S} + 4\,H_2O \qquad \textbf{(iii)}$$

A entrada de oxigênio em dutos pode ser, por exemplo, resultado da operação de passagem de pigs de limpeza ou inspeção, ou ainda via injeção de produtos químicos, como inibidores de corrosão ou, em alguns casos, metanol. O metanol, muito usado em gasodutos de exportação no exterior, é conhecido por ter uma alta solubilidade para o oxigênio e tem sido a fonte de muitos problemas de corrosão. Traços de oxigênio no sistema contendo H_2S são suficientes para oxidá-lo e resultar em enxofre elementar (reações ii e iii), podendo ser altamente agressivos levando a corrosão localizada.

Clark e Davis[1] apresentaram uma lista de possíveis reações químicas que podem favorecer de forma direta ou indireta a formação do enxofre elementar (Tabela 1).

Tabela 1: Reações químicas envolvendo enxofre elementar[1]

	Reação	Energia Livre (KJ/mol a 298°K)
(1)	$CO_2 + H_2S \Leftrightarrow CO + H_2O + \mathbf{S}$	62,0
(2)	$2H_2S + SO_2 \Leftrightarrow 3\mathbf{S} + 2H_2O$	-89,83
(3)	$2H_2S + O_2 \Leftrightarrow 2\mathbf{S} + 2H_2O$	-390,02
(4)	$CO_2 + H_2S \Leftrightarrow 2\mathbf{S} + 2H_2O + C$	4,34
(5)	$SO_4 + 3H_2S \Leftrightarrow 4\mathbf{S} + 2H_2O + 2OH$	73,59
(6)	$2H_2S \Leftrightarrow \mathbf{S} + H_2$	33,56
(7)	$Fe(OH)_2 + 2H_2S \Leftrightarrow FeS + 2H_2O$	-37,48
(8)	$FeS + H_2S \Leftrightarrow FeS_2 + H_2$	-32,99
(9)	$Fe_2O_{3(s)} + 3H_2S_{(g)} \Leftrightarrow 2FeS_{(g)} + 3H_2O_{(g)} + \mathbf{S}_{(s)}$	-43,64
(10)	$Fe_2O_{4(s)} + 4H_2S_{(g)} \Leftrightarrow 3FeS_{(g)} + 4H_2O_{(g)} + \mathbf{S}_{(s)}$	-65,84

Cézac et. at.[11] estabeleceram um modelo termodinâmico para estudar o caminho

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

mais provável de formação de enxofre sólido. Eles escolheram a equação de *Peng Robinson* para descrever este comportamento. A de-sublimação parece ser o mecanismo mais provável para explicar a formação do enxofre elementar. A de-sublimação ocorre quando existe uma mudança direta da fase vapor para a fase sólida sem passar pela fase líquida(1). Assim o enxofre gasoso presente no gás natural, é convertido ao estado sólido devido a uma série de mecanismos no sistema. Normalmente sua formação está associada a uma grande redução de pressão e, conseqüente resfriamento do fluxo de gás natural fazendo com que, o enxofre-vapor torne-se supersaturado e precipite (11).

5. Solubilidade do enxofre elementar

O enxofre elementar é muito solúvel em CS_2, e pouco solúvel em solventes orgânicos. A solubilidade do enxofre gasoso aumenta para temperaturas e pressões maiores.

A solubilidade do enxofre elementar no gás natural é incrementada com a presença do H_2S. Muitos autores(10, 12, 13) mostraram o efeito da temperatura e da pressão na solubilidade do enxofre elementar, desde o poço de produção até os sistemas de transporte do gás natural. A queda de pressão e taxas de resfriamento acelerado contribuem para a baixa solubilidade do enxofre elementar no gás natural.

Sun e Chen(12) reportaram que a solubilidade do enxofre elementar é incrementada quando existem maiores concentrações de H_2S e é muito dependente da temperatura e pressão. Nos poços de produção a solubilidade diminui do fundo do poço para a superfície, provocado pela queda de pressão e temperatura quando o gás flui para a superfície. Assim, parte do enxofre elementar dissolvido é precipitado.

Cezar et. at.(13) estudaram a solubilidade do enxofre elementar nos sistemas de transporte de gás natural, a baixos níveis de H_2S, faixas de pressão e temperatura menores a os encontrados nas condições de produção (de 0 a 80 bar e 260 a 310 ^oK). Eles observaram que para pressões entre 5 e 40 bar, a solubilidade do enxofre elementar é fortemente depende da temperatura e para pressões maiores, a solubilidade é mais influenciada pela pressão. Nestas condições de operação a solubilidade do enxofre é muito baixa, menor que 0,005mg/Nm^3

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

(Figura 6).

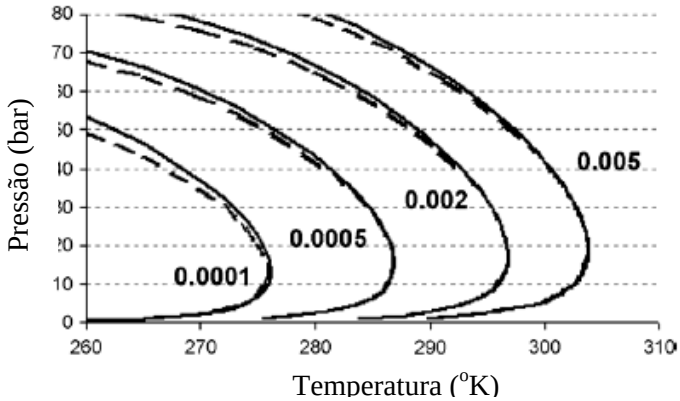


Figura 6: Curvas de isolubilidade do enxofre elementar, em função da temperatura e pressão.

6. Corrosão dos metais em meios com enxofre elementar

A corrosão causada pelo enxofre elementar ocorre na interface do enxofre-metal e ou enxofre-trinca. Muitos mecanismos de corrosão foram propostos nos sistema de gás natural contendo enxofre[14, 15 ,8].

As reações de corrosão que ocorrem no aço, devido ao enxofre elementar, não são completamente entendidas, sendo que, a reação mais aceitável, foi a publicado por Macdonald et at.[14]:

$$(x\text{-}1)Fe + S_{y-1}.S^{2-} + 2H^{+} \rightarrow (x\text{-}1)FeS + H_2S + S_{y-x} \qquad \textbf{(iv)}$$

A espécie $S_{y-1}.S^{2-}$ é formada por adsorção química do íon enxofre sobre a superfície de uma partícula de enxofre elementar para alcançar o contato direto entre este e o aço, ou aço/FeS,

Boden e Maldonado-Zagal[15] propuseram o seguinte mecanismo para dissolução do enxofre elementar em água:

$$4S + 4H_2O \leftrightarrow 3H_2S + H_2SO_4 \qquad \textbf{(v)}$$

---

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Estes autores encontraram que o pH da água destilada cai para 1,8 quando o S é introduzido. A geração de H_2S e H_2SO_4 poderia explicar o baixo pH e a formação de FeS com S em contato direto com o aço, provocando altas taxas de corrosão. Eles ainda observaram que diferença entre as taxas de corrosão dos polisulfetos e o acido sulfúrico é significante. O polisulfeto provoca corrosão localizada e, o acido sulfúrico produz corrosão generalizada.

Esta reação é muito lenta na temperatura ambiente e, apesar disso, pode ocorrer e produzir suficiente H_2S para formar FeS_x (Mackinawite).

Schmitt[8] apresentou um mecanismo de corrosão a partir da formação do FeS, que pode ser formado pelas seguintes reação químicas:

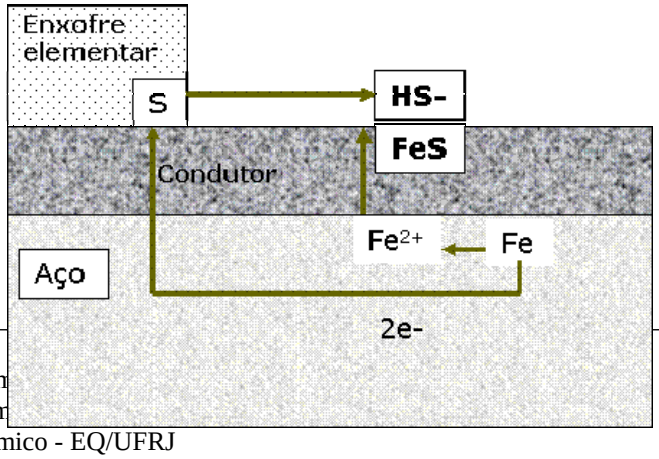
$$Fe^{2+} + HS^- + OH^- \rightarrow FeS + H_2O \qquad \textbf{(vi)}$$

$$Fe^{2+} + S^{2-} \rightarrow FeS \qquad \textbf{(vii)}$$

$$Fe(OH)^+ + H^+ + HS^- + OH^- \rightarrow FeS + 2H_2O \qquad \textbf{(viii)}$$

$$Fe(OH)^+ + H^+ + S^{2-} \rightarrow FeS + H_2O \qquad \textbf{(ix)}$$

O sulfeto de ferro é depositado sobre a superfície do metal. Este filme pode atuar como uma barreira protetora para o metal, impedindo a passagem dos elétrons do metal para a solução, mas pode ser desfavorável quando apresentar falhas (trincas ou porosidade). A partir da estrutura com defeitos, o filme é altamente condutor de elétrons resultando assim, em um canal para a transferência de elétrons entre o metal e o enxofre elementar depositado na superfície (Figura 7).



[1] MSc. – Engenheira Quím
[2] PhD. – Engenheira Quím
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Figura 7: Mecanismo de corrosão[8]

A reação de redução simplificada do enxofre elementar é:

$$S + 2e \rightarrow S^{2-} \qquad \textbf{(xi)}$$

Os elétrons consumidos nas reações catódicas são fornecidos pela reação anódica de dissolução do metal:

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e \qquad \textbf{(xii)}$$

$$Fe + H_2O \rightarrow Fe(OH)^{+} + H^{+} + 2e \qquad \textbf{(xiii)}$$

Graig[14] demonstrou que na solução saturada com H_2S na temperatura ambiente o sulfeto que forma é o Mackinawite sendo que, uma vez introduzido oxigênio no sistema, ou por simples contato do Fe_9S_8 com o ar, este se oxida para γ-FeO(OH) e depois para Fe_3S_4. O enxofre é liberado como enxofre elementar ou como polisulfeto. O resultado da taxa de corrosão foi particularmente alta, 7,5mpy (0,19mm/ano). Quando uma estrutura cristalina é convertida em outra, há trincamento no filme produzido. Esta ruptura do filme forma uma célula galvânica entre a superfície do metal e o sulfeto de ferro formado, tudo isto leva ao aceleramento da corrosão[14].

Wilken[5] estudou a corrosividade do enxofre elementar quando encontrado nos poços de perfuração, e observou que o enxofre elementar incrementa a taxa de corrosão do aço carbono assim como a dos materiais resistentes à corrosão. O aço carbono reagiu fortemente na presença de enxofre gasoso, formando uma camada porosa sobre a superfície do metal. A corrosão de materiais resistentes à corrosão foi observada quando estes foram colocados diretamente em contato com o enxofre elementar na fase sólida ou líquida.

---

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Tomlinson e Meades[16] observaram microscopicamente a formação de pite e trincas no aço inoxidável 304, provocado pela presença de enxofre elementar na solução, sendo que a trinca só foi observada quando oxigênio foi introduzido no teste.

7. Considerações finais

- O enxofre elementar é um elemento catalisador da corrosão uma vez que acelera a reação catódica consumindo os elétrons provenientes da reação anódica (dissolução do metal).
- A precipitação do enxofre elementar é normalmente encontrada nos lugares onde existe redução de pressão com conseqüente diminuição da temperatura.
- O entupimento das válvulas de medição são um dos principais problemas ocasionados pelo enxofre elementar. Este pó fica precipitado nos equipamento diminuindo o fluxo do gás.
- A de-sublimação sugere ser o mecanismo pelo qual enxofre gasoso passa ao estado sólido em sistemas de transporte de gás.
- O enxofre elementar é solúvel nos componentes do gás natural, é muito solúvel em disulfeto de carbono, em presença de H_2S há a supersaturação. Tem pouca solubilidade nos ácidos orgânicos e inorgânicos e é insolúvel na água.

8. Bibliografia

(1) David J. Pack, “Elemental Sulphur Formation in Natural Gas Transmission Pipelines”, 2005.

(2) C. Wilkes, V. Pareek, “Sulfur Deposition in a Gas Turbine Natural Gas Fuel Control System”, Energy-Tech Online, 2001.

(3) A.-B. Chesnoy, D.J. Pack, “S8 Threatens Natural Gas Operations”, Oil Gas J. (1997) 74-78.

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

(4) J. B. Hyne, "Study Aids Prediction of Sulphur Deposition in Sour-gas Wells", Oil Gas J. (1968) 107-113.

(5) G. Wilken, "Effect of Enviromental Factors on Downhole Sour Gas Corrosion", Corrosion 1996, Paper No. 76.

(6) F. S. Gareau, N. A. Chambers, J. V. Atkey, "Corrosion of L-80 Tubing During Production of Sour Gas and Elementar Sulphur – a Case History", Supplied by the British Library, 147-158.

(7) Tuller, W. N. ed. "The sulphur data book". New York: McGraw-Hill, 1954.

(8) G. Schimitt, "Effect of elemental Sulfur on Corrosion in Sour Gas Systems", Corrosion-Vol. 47, no.4, pág. 285, 1991.

(9) J. B. Hyne, E. Muller, ASRL Quartely Bulletin, Vol. 6, No. 3, 24-31, (Outubro – Dezembro 1969).

(10) P. D. Clark, P. David, J. Simion, E. Fitzpartrick and C.S.C. Lua, "Recent Developents in the Mitigation of Sulfur Deposition in Sour gas Facitites", Alberta Sulfur Research Ltd. Department of Chemistry, 2005.

(11) P. Cézac, J-P Serin, J-M. Reneaume, "Elemental Sulphur Deposition in Natural Gas Transmission and Distribution Networks", Supercritical Fluids J, 2007.

(12) C.-Y. Sun, G-J. Chen, "Experimental and Modeling Studies on Sulfur Solubility in Sour Gas", Fluid Phase Equilibria (2003), 187-195.

(13) P. Cézac, J-P Serin, J-M. Mercadier, G. Mouton, "Modelling Solubility of Solid Sulphur in Natural Gas", Chemical Engineering J (2007), 283-291.

(14) L. Smith, B. Craig, " Practical Corrosion Control Measures for Elemental Sulfur Containing Enviroments", Corrosion 2005, No. 05646.

(15) P. J. Boden, S.B. Maldonado, "Hydrolysis of Elemental Sulfur in Water and its Effects on the Corrosion of Mild Steel", British Corrosion Journal, Vol 17(3), 116-20, 1982.

(16) W. J. Tomlinson, D. M. Meades, "Elemental Sulfur and the Corrosion and Cracking of Type 304 Stainless Steeel", Corrosion –Vol. 47, No 4, 269-271.

---

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

[1] MSc. – Engenheira Química - LACOR/INT
[2] PhD. – Engenheira Química, LACOR/INT
[3.] PhD. – Engenheiro Químico - EQ/UFRJ
[4] MSc. – Engenheira Química - CENPES/PETROBRAS