

Ivan Nogueira <[ivan.nogueira@kfcengenharia.com.br](mailto:ivan.nogueira@kfcengenharia.com.br)>

Diretor Técnico Empresa de Engenharia KFC

21 janeiro 2020

### Assunto

Seleção de material de construção de vaso de pressão e de trocador de calor para a água produzida em campos de petróleo *on-shore* da EFAL – Estação de Fazenda Alegre no ES

### Questão

Estou fazendo uma seleção de material de vaso e trocador de calor para água produzida em campos *on-shore* da EFAL – Estação de Fazenda Alegre no ES

Estou recorrendo às Normas NACE MR 0103 e NACE 0175 para validar o uso do aço inoxidável austenítico 316 no lugar do aço austenítico duplex ou super-duplex, pois a pressão parcial do H<sub>2</sub>S é baixa: na corrente líquida é 5500 ppm e na gasosa 55 ppm. Porém tenho dúvidas devido à alta salinidade e teor de cloreto presente na solução líquida.

Também porque imagino que a análise de água produzida em *on-shore* deve variar muito as características físico-químicas.

### Premissas

A seleção de material compreende os equipamentos: resfriador de óleo (tubos de troca térmica) e separador de gotículas (demister) e internos do vaso.

Condições de operação:

- Fluido: água produzida
- Pressão de operação: 4 kgf/cm<sup>2</sup>m
- Temperatura de projeto = 120°C
- Pressão parcial do H<sub>2</sub>S da corrente líquida 5500 ppm e gasosa 55 ppm
- Salinidade (concentração sais minerais dissolvidos na água) presente na solução líquida: 14571 mg/l
- Cloro: 8839 mg/l
- Sódio: 4960 mg/l

Obs.: essas concentrações na água produzida em *on-shore* podem variar.

### Resposta

A água produzida é um problema sério e deveras complicado, pois além de ser agressiva muda constantemente de composição físico-química e às vezes a temperatura também varia.

**Água produzida** é um termo usado na [indústria do petróleo](#) para descrever água que é produzida como um subproduto juntamente com o [petróleo](#) e [gás natural](#), sendo trazida à superfície juntamente com petróleo e gás durante as atividades de produção desses fluidos. (Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre)

Nesse caso, temos dois serviços agressivos: H<sub>2</sub>S+H<sub>2</sub> e Cloretos.

#### 1. Serviço H<sub>2</sub>S+H<sub>2</sub>

<http://www.petroblog.com.br/wp-content/uploads/Servi%C3%A7o-H2S-Equipamentos-e-Tubula%C3%A7%C3%B5es.pdf>

Serviço H<sub>2</sub>S Úmido ou simplesmente Serviço com H<sub>2</sub>S

É a operação de equipamentos e sistemas de tubulações com fluido em meio aquoso, isto é água livre, contendo H<sub>2</sub>S e abaixo de 150°C.

A característica principal do Serviço H<sub>2</sub>S é que o Hidrogênio atômico, gerado no processo de ataque corrosivo ao aço pelo H<sub>2</sub>S, penetra na estrutura metálica, por resultado de um mecanismo eletroquímico.

Nessa situação de meio úmido contendo H<sub>2</sub>S, as normas NACE MR0103, NACE SP0472 e NACE MR0175 determinam os requisitos aplicáveis, para se prevenir as deteriorações típicas do Serviço com H<sub>2</sub>S: Corrosão Sob Tensão por Sulfetos SSC-Sulfide Stress Cracking, H<sub>2</sub> Blistering, HIC, SWC e SOHIC.

Os equipamentos e sistemas de tubulação que operam com fluidos que contêm Sulfetos, em particular o H<sub>2</sub>S-Sulfeto de Hidrogênio, com água livre e em temperaturas até 150°C, são considerados em Serviço com H<sub>2</sub>S úmido *Wet H<sub>2</sub>S Service*.

## **2. Serviços com Cloretos**

<http://www.petroblog.com.br/wp-content/uploads/Corros%C3%A3o-sob-tens%C3%A3o-por-Cloreto.pdf>

Todos os aços inoxidáveis austeníticos (série 300) são altamente suscetíveis a CST-Corrosão Sob Tensão por Cloretos.

Já os aços inoxidáveis duplex e superduplex são mais resistentes e as ligas à base de Níquel são altamente resistentes, mas não totalmente imunes.

Acredito que você não vai conseguir escapar do aço inoxidável duplex.

Com certeza a escolha normal seria o aço inoxidável duplex ou os seus irmãos super e hiper. Contudo, tem havido muitos problemas notadamente nas juntas soldadas dos duplexes cuja estrutura metalúrgica não se conseguiu preservar após soldagem.

Quando se utiliza solda heterogênea o metal base é afetado e quando é homogênea nem o metal de base tampouco o de solda são preservados, perdendo a característica 50%/50% austenita/ferrita dos aços duplex e proporcionando corrosão localizada bem apreciável.

## **3. Vantagens aços inoxidáveis duplex e superduplex**

3.1- A combinação entre os elevados valores de alongamento da austenita com o elevado limite de escoamento da ferrita nos aços inoxidáveis duplex e superduplex forma um conjunto de notáveis propriedades mecânicas.

Os aços inoxidáveis duplex e superduplex apresentam elevado limite de escoamento, na ordem de duas vezes o valor dos aços austeníticos da série 300. Além disso, apresentam um alongamento mínimo em torno de 25%.

3.2- Os aços inoxidáveis duplex e superduplex possuem uma microestrutura austeno-ferrítica com fração média de cada fase de cerca 50%. Esta microestrutura é responsável pelas excelentes propriedades mecânicas, especialmente o limite de escoamento e a tenacidade, e pela elevada resistência à corrosão por pites e sob tensão em meios contendo cloretos.

3.3- Para aplicações em meios contendo cloretos e com risco de ocorrência de corrosão por pites, as ligas dúplex UNS S31803 (SAF2205) e superduplex UNS S32750 (SAF2507) são uma alternativa econômica, quando comparada aos aços inoxidáveis austeníticos de alta liga com 5 a 6% de Molibdênio, que seria outra alternativa.

3.4- Em meios contendo cloretos e com risco de ocorrência de corrosão sob tensão, o duplex UNS S32304 (SAF2304) constitui-se interessante alternativa, quando comparado com o AISI 304L e AISI 316L.

3.5- A alta resistência mecânica e a dilatação térmica próxima à dos aços carbono colocam os duplex e superduplex em posição privilegiada do ponto de vista de projeto, pois permitem a utilização de equipamentos mais leves, mais seguros, além de propiciarem aumento da vida útil.

## **4. Desvantagens aços inoxidáveis duplex e superduplex**

4.1- Por outro lado, a soldagem destes aços é frequentemente uma operação crítica e prejudica essas excelentes características mecânicas e de resistência à corrosão. O desempenho desses aços pode ser seriamente afetado pela soldagem.

4.2- Os problemas são notadamente nas juntas soldadas dos duplex e superduplex, cuja estrutura metalúrgica jamais se consegue preservar após soldagem. Quando se utiliza solda heterogênea o metal base é afetado e quando homogênea nem o metal de base tampouco o

de solda são preservados, perdendo a característica 50%/50% austenita / ferrita e causando corrosão bem apreciável.

#### Referências

a- Estudo comparativo entre os aços inoxidáveis dúplex e os inoxidáveis AISI 304L/316L  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672007000100027](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672007000100027)

b- Boas práticas na soldagem de tubulações de Aços Inoxidáveis Duplex e Superduplex, utilizando o processo GTAW.

<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EME733/Semin%C3%A1rios%20Inox/Boas%20Pr%C3%A1ticas%20Soldagem%20Tub%20Inox%20Duplex%20Superduplex%20GTAW.pdf>

### **5. Complementação**

5.1. Se a seleção do material dos tubos do trocador indicar aço inoxidável duplex ou super duplex, atentar para os seguintes quesitos, conforme especificado na Norma N-466 Projeto de Trocador de Calor Casco e Tubo da Petrobras:

a- Os tubos de troca térmica devem ser sem costura.

b- Os espelhos devem ser maciços de super-duplex ou ter revestimento anticorrosivo cladeado. No caso de cladeados, o clad deve ser sempre do lado dos tubos, do lado do casco é muito difícil a execução.

Para os espelhos com revestimentos metálicos anticorrosivos, o revestimento anticorrosivo deve se estender, obrigatoriamente, em todo o contorno dos rasgos de encaixe dos divisores de passe e em toda área de assentamento de junta de vedação.

Obs.: Uma alternativa seria o revestimento do espelho tipo "welded-overlay", mas devido às dificuldades com a soldagem desse material super-duplex, não é uma opção.

c- A fixação tubo x espelho deve ser com mandrilagem (expandidos e mandrilado) nos furos do espelho.

A opção de solda da extremidade do tubo ao espelho, não é razoável no caso do aço duplex e superduplex.

Se mandrilados, a extremidade dos tubos deve ultrapassar em 3 mm a superfície do espelho, exceto nos trocadores verticais onde a extremidade dos tubos deve facear a superfície do espelho superior.

Também deve haver no mínimo 2 rasgos de mandrilagem, no metal-base em cada furo do espelho com aproximadamente 3 mm de largura e 0,4 mm de profundidade.

E no caso de espelho cladeado deve haver mais 1 rasgo de mandrilagem, feito no "clad". Para isso o revestimento metálico deve ter uma espessura mínima de 9 mm, para conter integralmente o 3º rasgo de mandrilagem dos tubos e a distância mínima entre o bordo do rasgo e a face externa do revestimento deve ser de 3 mm.

Obs.: Quanto à possível dificuldade na execução da mandrilagem de tubos super-duplex não consegui informações sobre o possível encruamento desse material.

#### **Nota:**

A mandrilagem não deve ser usada nos seguintes casos:

- 1) serviço de classe de pressão igual ou maior que o ASME 600;
- 2) serviço com fluido letal, em somente um dos lados (lado do casco ou lado dos tubos), com pressão de operação superior à pressão de operação do outro fluido;
- 3) serviço cujo vazamento seja inadmissível (exemplos: H<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S), em somente um dos lados (lado do casco ou lado dos tubos), com pressão de operação superior à pressão de operação do outro fluido.

d- Se a ligação tubo x espelho for por solda, a solda deve ser de resistência total conforme ASME VIII 1, item UW-20 (a) (1) e o tubo deve ser expandido dentro do furo.

Obs.: Se for adotada a ligação tubo x espelho com solda, embora seja uma solda homogênea é importante verificar sempre a sanidade e segurança dessa solda.

5.2. Para o material do demister e dos internos do vaso, como são acessórios removíveis facilmente, avaliar o uso do aço inoxidável AISI 316, ao invés de aço inoxidável duplex ou super-duplex.

**Colaboração do engº Consultor da Petrobras Hermano Cezar Medaber Jambo**