

Capítulo IV - FRATURA FRÁGIL

1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste critério de avaliação é evitar uma fratura frágil catastrófica consistente com a filosofia do código ASME. A intenção é prevenir a iniciação da fratura.

As seguintes condições podem ser motivos para a realização de uma avaliação do risco de fratura:

- 1 - Alterações no processo do equipamento, com o aumento da probabilidade de ocorrências de temperaturas baixas;
- 2 - Possibilidade de ocorrência de temperaturas inferiores à condição de projeto original, mesmo sem alterações de condições operacionais;
- 3 - A pressão no equipamento é aumentada, reduzindo a margem de segurança para uma possível fratura;
- 4 - O equipamento pode ser submetido a condições de pressão elevadas, em partidas e paradas, ainda com temperaturas próximas à ambiente.

O proprietário poderá identificar outras circunstâncias onde uma avaliação da fratura frágil seja importante de ser realizada.

O valor de CET (critical exposure temperature) é definido como a menor temperatura atuante na estrutura devido às condições operacionais. As seguintes condições podem ser utilizadas para o estabelecimento do valor de CET :

- 1 - Menor temperatura a que o componente é submetido para uma condição de tensão primária generalizada maior que 55,2 Mpa (8,0 ksi);
- 2 - Mínima temperatura a que o componente poderá estar sujeito em uma condição de pressão superior a 40% da PMA do equipamento, para vasos fabricados pelo ASME Seç.VIII - Div.1 em edições anteriores a 1999;
- 3 - Mínima temperatura a que o componente poderá estar sujeito em uma condição de pressão superior a 35% da PMA do equipamento, para vasos fabricados pelo ASME Seç.VIII - Div.1 em edições posteriores a 1999;
- 4 - Mínima temperatura a que o componente poderá estar sujeito em uma condição de pressão superior a 30% da PMA do equipamento, para vasos fabricados pelo ASME Seç.VIII - Div.2;



O valor de MAT (minimum allowable temperature) é a mínima temperatura permissível para um dado material e espessura, baseada na resistência do material à fratura frágil. A determinação de MAT depende de informações sobre projeto mecânico, especificações e testes de material.

O equipamento avaliado para a condição de fratura frágil deverá ser acompanhado e mantido sua manutenção dentro dos requisitos exigidos pelos documentos API-510, API-570 e API-653, onde aplicável.

Para permitir a utilização dos critérios de avaliação previstos no API-RP 579 devem ser disponibilizadas informações sobre o projeto mecânico do equipamento e materiais de construção dos componentes. Testes específicos do material, tais como valores de energia Charpy V e ensaios de tração, se disponíveis, devem ser utilizados para avaliações de maior Nível.

Em adição aos dados de projeto, informações pertinentes a reparos efetuados e condições passadas, atuais e futuras de operação devem ser avaliadas. Todas estas informações devem ser utilizadas para definição dos pontos críticos do equipamento e a combinação de carregamentos mais desfavorável para a avaliação.

O Nível 1 de avaliação previsto no documento API-RP 579 tem como objetivo verificar a adequação do equipamento aos requisitos de tenacidade exigidos pelo código original de projeto. Esta avaliação pode ser realizada pela aplicação de curvas e critérios definidos por estes códigos.

O Nível 2 de avaliação pode ser dividido em 3(três) métodos :

Método A - O equipamento estará adequado para a operação, se for comprovado que as condições de pressão e temperaturas a que o equipamento está sujeito estão localizadas dentro de um envelope seguro com respeito a combinações de pressões e temperaturas admissíveis.

Método B - A adequação do equipamento é obtida através da realização de teste hidrostático em pressão que permita a operação em pressões inferiores e temperaturas mais reduzidas que a de realização do teste.

Método C - O equipamento poderá ser considerado adequado para operação contínua baseado nos materiais de construção, condições de operação, meio e experiência passada.

O Nível 3 é utilizado quando os Níveis 1 e 2 não são atendidos. Este Nível envolve uma análise detalhada através da mecânica da fratura das condições de falha do equipamento.

2 - AVALIAÇÃO NÍVEL 1

Este Nível de avaliação é adequado para equipamentos que atendem aos requisitos de tenacidade do código original de projeto.

Vasos de pressão que possuem o valor de CET igual ou superior que o valor de MAT, são considerados adequados para operação dentro das condições estabelecidas pela análise.

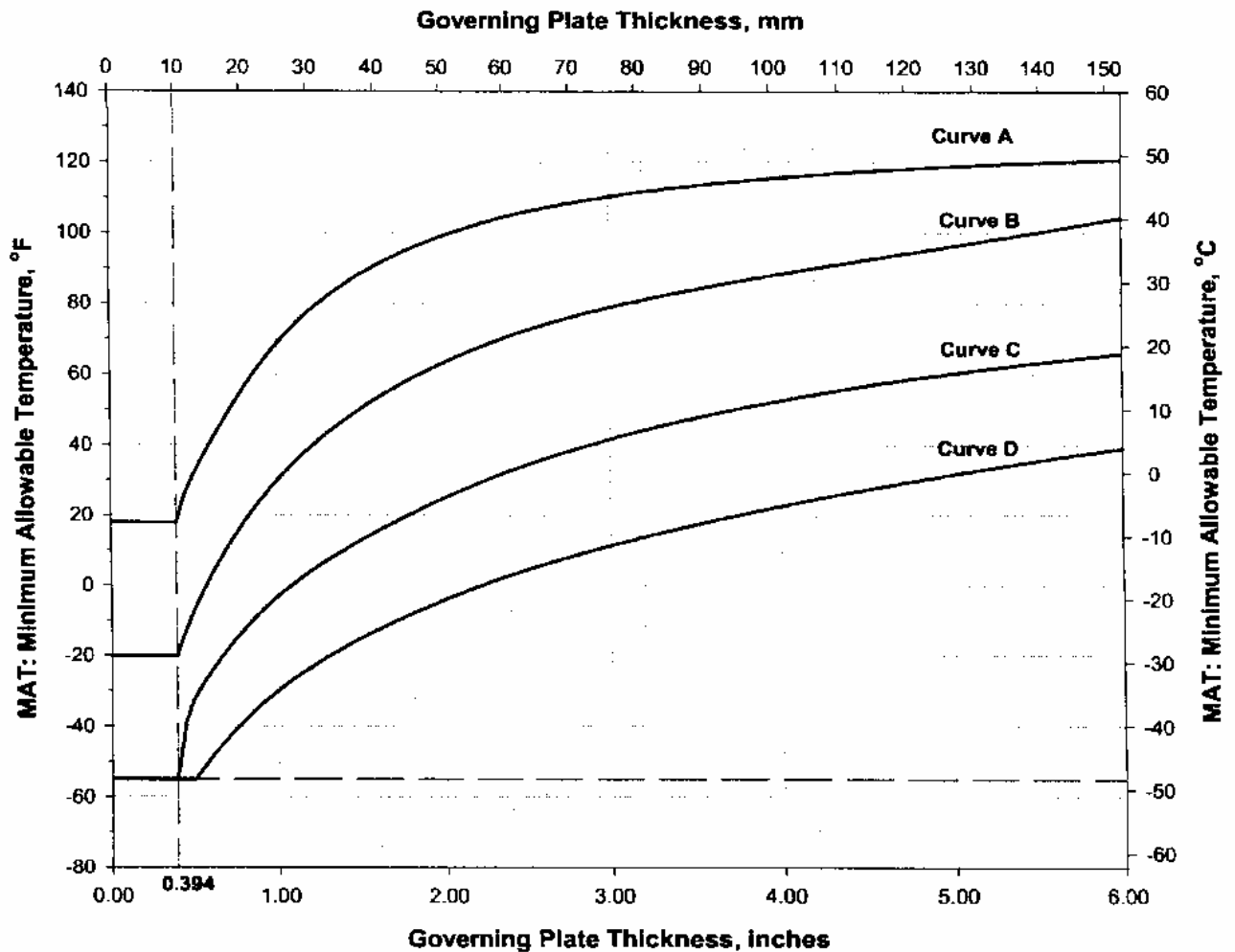
A Figura 3.3 do API-RP 579 (Fig. UCS-66 do código ASME Seç.VIII - Div.1) deve ser tomada como base para a definição da mínima temperatura admissível para o equipamento que dispense a adequação do material para a condição de baixa temperatura. Para utilização dessa figura, seguir os passos seguintes:

A - Selecionar a curva correspondente ao material do equipamento. Para materiais considerados obsoletos ou para equipamentos construídos com materiais conformes com especificações diferentes da ASTM, tais como aços BS, ANF, DIN, classificar o material como Curva A, se não conhecida a correlação equivalente a especificação ASTM.

B - Entrar na Figura 3.3 com a espessura nominal do equipamento e encontrando a Curva correspondente ao material, determinar a temperatura mínima permitida para o equipamento;

C - Se a temperatura obtida pela Figura 3.3 for inferior à temperatura mínima de operação, em sua condição mais crítica, o material do equipamento está adequado para a manutenção de tenacidade. Ao contrário, o equipamento não estaria adequado para a operação em condição de baixa temperatura, sendo possível a utilização da Figura 3.5 do API-RP 579 (Fig. UCS-66.1 do código ASME Seç.VIII - Div.1) para a determinação das condições limites de operação do equipamento.

Figure 3.3
Minimum Allowable Metal Temperature



Notes:

1. Curves A through D define material specification classes in accordance with Tables 3.3 and 3.4.
2. Equipment whose *CET* is above the appropriate material curve is exempt from further brittle fracture assessment.
3. This figure is from the ASME Code Section VIII, Division 1, paragraph UCS-66.
4. Curve A intersects the *MAT*-axis at -8°C (18°F), Curve B intersects the *MAT*-axis at -29°C (-20°F), and Curves C and D intersect the *MAT*-axis at -48°C (-55°F).
5. These curves can also be used to evaluate piping components designed to ASME B31.3. In this case, Curve B should be shifted to the right so that 12.7 mm (0.5 in.) corresponds to a temperature -29°C (-20°F). To account for this shift in an assessment, an effective governing thickness equal to the actual governing thickness minus 2.69 mm (0.106 in.) can be used to determine the *MAT*.
6. The equations of the curves in this figure are provided in Table 3.5.
7. A reduction in the *MAT* is permitted for components subject to PWHT (see paragraph 3.4.2.1.e).

A Figura 3.5 pode ser utilizada para verificar os limites operacionais do equipamento em uma tentativa de adequá-lo à condição de baixa temperatura. Para obtenção desse limite operacional, seguir os seguintes passos:

A - Determinar qual a diferença de temperatura entre o valor obtido através da Figura 3.3 e a temperatura mínima de operação do equipamento;

B - Entrar na Figura 3.5 com essa diferença de temperaturas, obtendo-se a razão :

$R_{ts} = t_r \cdot E^* / (t_g - Loss - FCA)$, onde:

t_r - espessura mínima requerida do componente;

E^* - eficiência de junta soldada do equipamento, limitado a um mínimo valor de 0,8;

t_g - espessura efetiva nominal do componente;

Loss - perda de espessura associada ao componente;

FCA - perda de espessura futura no componente.

Quando utilizada a curva de exceção da figura 3.3, para materiais P1 Group number 1 e 2, a temperatura obtida poderá ser reduzida de 17°C (30°F) para equipamento que possuam tratamento térmico de alívio de tensões.

Vasos fabricados conforme código ASME Seç.VIII - Div.1, que atendem aos requisitos abaixo descritos não necessitam ter avaliado o valor de MAT para a determinação da adequação do equipamento.

1 - O material é limitado ao P-Nº 1, Gr.nº1 ou 2, como definido pelo código ASME Seç.IX, e a espessura, não excede aos valores abaixo.

- 12,7 mm para materiais listados na Curva A da Figura 3.3;
- 25,4 mm para materiais listados nas Curvas B, C ou D da Figura 3.3.

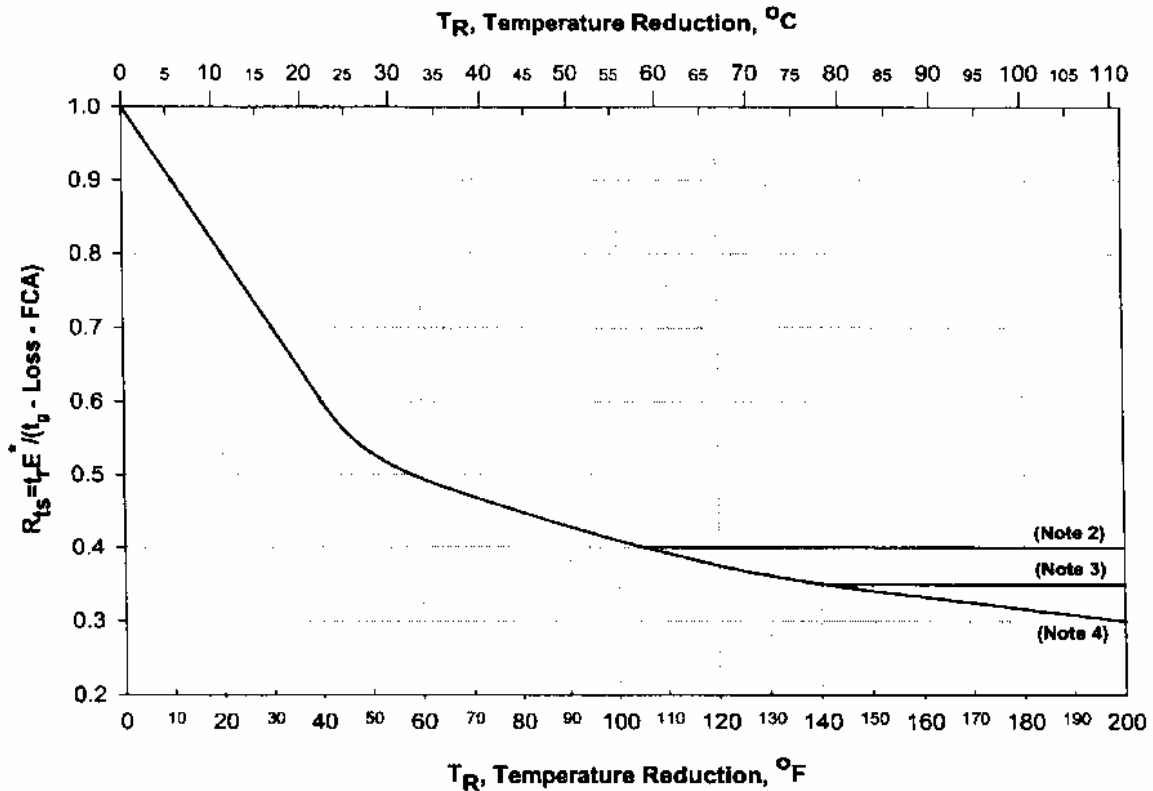
2 - O vaso foi testado hidrosticamente em uma pressão 1,5 vezes maior que a pressão de projeto do equipamento, para vasos fabricados anteriores a 1999, e 1,3 vezes para vasos fabricados após 1999.

3 - A temperatura de projeto é inferior a 343°C (650°F) e superior a -29°C (-20°F). Temperaturas ocasionais abaixo de -29°C (-20°F) são aceitáveis quando ocorrem devido a variações da temperatura ambiente.

4 - Carregamentos de choque térmico ou mecânico não são previstos ocorrerem;

5 - Não ocorrem variações de carregamento caracterizando um serviço sujeito à fadiga.

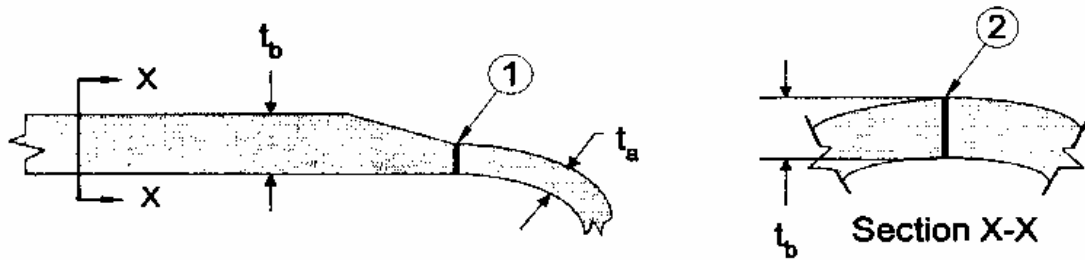
Figure 3.5
Reduction In The MAT Based On Available Excess Thickness
For Carbon and Low Alloy Steel Vessels



Notes:

1. See Table 3.2 for definition of parameters.
2. Use this curve for components with a design allowable stress at room temperature less than or equal to 120.8 MPa (17.5 ksi). This curve can be used for vessels designed and constructed to the ASME Code, Section VIII, Division 1, Editions prior to 1999.
3. Use this curve for components with a design allowable stress at room temperature less than or equal to 137.8 MPa (20 ksi) but greater than 120.8 MPa (17.5 ksi). This curve can be used for vessels designed and constructed to the ASME Code, Section VIII, Division 1, 1999 Edition and later.
4. Use this curve for components with a design allowable stress at room temperature less than or equal to 172.5 MPa (25 ksi) but greater than 137.8 MPa (20 ksi). This curve can be used for vessels designed and constructed to the ASME Code, Section VIII, Division 2, and piping designed to ASME B31.3.
5. The equations for the curves in this figure are provided in Table 3.5.
4. The starting point for the *MAT* for use with the temperature reduction provided for in this figure is -48°C (-55°F). Note that this starting point cannot be below -48°C (-55°F) for components subject to PWHT (see paragraph 3.4.2.1.e).
5. The ending point for the *MAT* after application of the temperature reduction permitted by this figure is a function of R_s and the code allowable stress basis as defined in notes 3, 4, and 5 above. When R_s is less than or equal to 0.4, 0.35, and 0.3 on the applicable curve, then $MAT = -104^{\circ}\text{C}$ (-155°F).

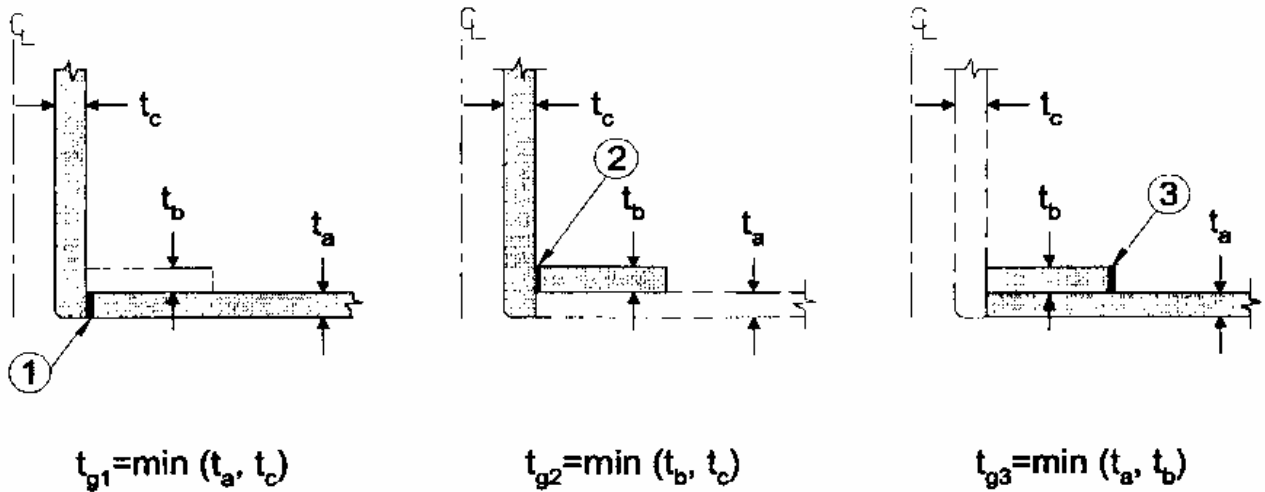
Figure 3.4
Some Typical Vessel Details Showing The Governing Thickness



$$t_{g1} = t_a$$

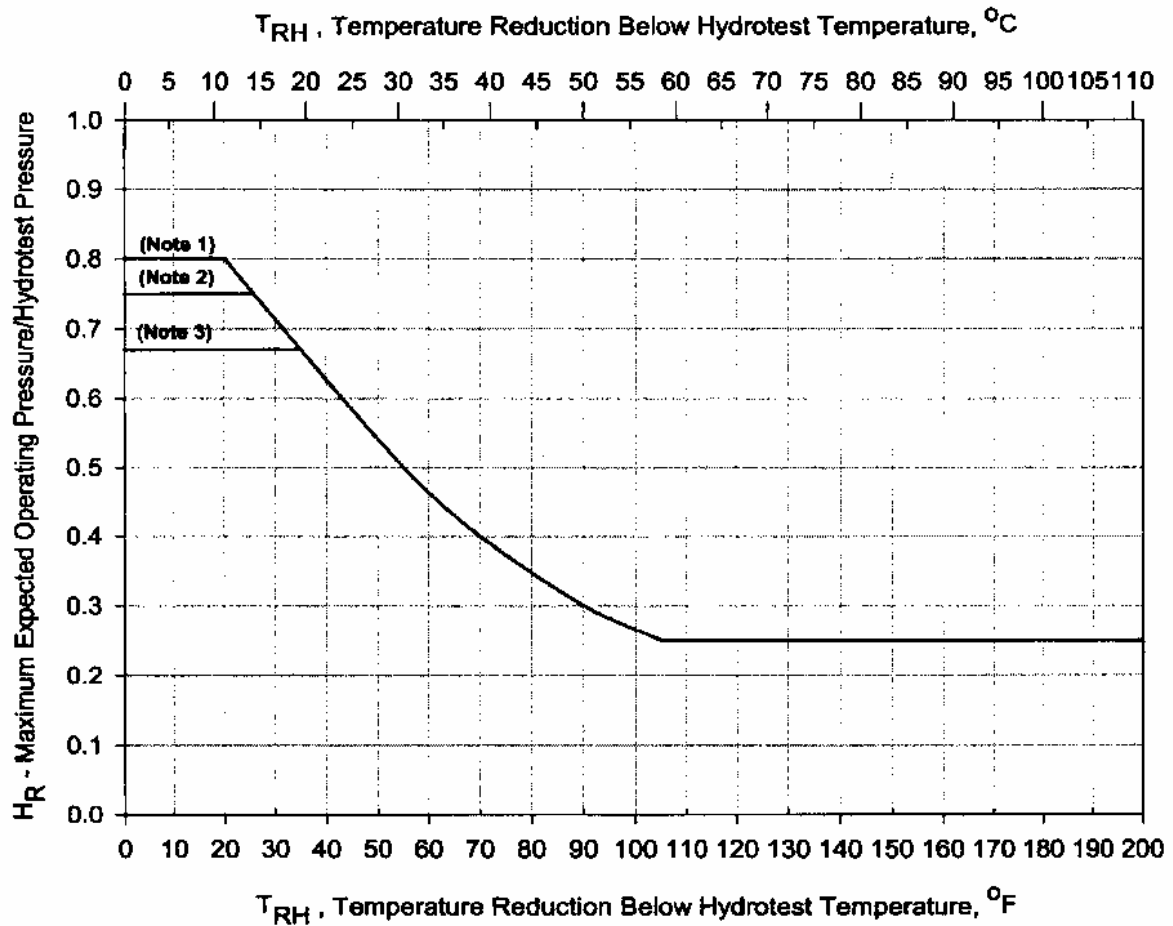
$$t_{g2} = t_a \text{ (seamless) or } t_b \text{ (welded)}$$

(A) Butt Welded Components



(B) Welded Connection with or without a Reinforcing Plate

Figure 3.6
Allowable Reduction In The MAT
Based On Hydrostatic Proof Testing



Notes:

1. Use this curve when the hydrotest pressure is 125% of the design pressure.
2. Use this curve when the hydrotest pressure is 130% of the design pressure.
3. Use this curve when the hydrotest pressure is 150% of the design pressure.
4. The equations for the curves in this figure are provided in Table 3.5.

Independente da Categoria em que o equipamento se enquadra, sua segurança operacional requer o atendimento das seguintes exigências:

- a) O equipamento deve atender aos requisitos de segurança estabelecidos na Norma Regulamentadora NR-13, inclusive no que se refere à atualização do Prontuário e das inspeções de segurança;
- b) Todos os reparos e alterações aplicados ao equipamento devem apresentar conformidade com a Prática Recomendada API RP-510;
- c) O equipamento deve ter sido submetido a um teste hidrostático recente com o objetivo de adequar a condição de pressão máxima de operação;
- d) O equipamento deve ter sido submetido a uma inspeção recente com o objetivo de identificar, dimensionar e avaliar descontinuidades que possam se propagar, pondo em risco a segurança;
- e) Reparos de solda no equipamento devem ser adequados para manter, a tenacidade da junta soldada pelo menos como fabricada;
- f) Quando em operação nenhum vazamento que provoque redução de temperatura local deve ser tolerado, sendo recomendada a eliminação imediata do mesmo, ainda que para tanto seja necessário parar a unidade;
- g) Esforços excessivos sobre regiões de bocais dos equipamentos devem ser estudados e as condições que os originam alteradas de forma a minimizar a ocorrência de tensões não previstas no projeto do costado.

Exemplos :

1 - Um vaso de pressão, com 1,0 in de espessura, é fabricado com material SA-285 Gr.C para serviço cáustico e submetido a tratamento térmico após soldagem quando de sua construção. O vaso foi projetado e construído segundo ASME Seç.VIII - Div.1. Determinar o valor de MAT.

Solução:

Baseado na Curva A da UCS-66, o valor de MAT é de 68°F para uma temperatura de 1,0 in. Com a redução admissível definida para equipamentos com TTAT, temos: $MAT = 68,0 - 30,0 = 38,0^{\circ}F$

2 - Um reator fabricado em SA-204 Gr.B (C - $\frac{1}{2}$ Mo) possui as características abaixo.

Tensão admissível = 17.500 psi

Pressão de projeto = 390 psi

Diâmetro interno = 234 in

Pressão de operação = 240 psi

Espessura de parede = 2,72 in

Pressão de startup = 157 psi

Eficiência de junta = 1,0

Sobresspessura de corrosão = 1/16 in

MAT na condição de projeto = 110°F (conforme Curva A da UCS-66)

Desenvolva uma tabela de MAT em função da pressão atuante no equipamento.

Solução:

$$R_c = 234,0 / 2 - 0,0625 = 116,9 \text{ in}$$

$$t_c = 2,72 - 0,0625 = 2,66 \text{ in}$$

$$S^*E^* = P.(R_c / t_c + 0,6) = P.(116,9 / 2,66 + 0,6) = 44,6.P$$

Utilizando esta relação, uma tabela de MAT em função da condição de pressão pode ser estabelecida.

P [psi]	S^*E^* [psi]	$R_{ts} = S^*E^* / SE$	ΔT [°F]	MAT [°F]
390	17.400,0	1,00	0	110
240	10.700,0	0,61	38	72
157	7.000,0	0,40	105 a 260	5 a -155

As temperaturas de operação e os valores correspondentes de MAT da tabela devem ser comparados para análise da adequação do equipamento e o risco de fratura frágil.