

## COTEQ - 000

### TESTE DE CISALHAMENTO RADIAL EM JUNTAS PARA TROCADORES DE CALOR

José Carlos Veiga<sup>1</sup>, Nelson Kavanagh<sup>2</sup>

Copyright 2009, ABENDE, ABRACO e IBP

Trabalho apresentado durante a 10ª. COTEQ – Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade dos autores.

#### Sinopse

---

Devido à alta incidência de vazamentos que costumam ocorrer em Trocadores de Calor do tipo Casco e Tubos, a indústria tem voltado seu foco de investigação para o questionamento sobre a capacidade da junta de vedação suportar a diferença de dilatação térmica entre flanges. Por que ?

Como é amplamente conhecido, os Trocadores de Calor são projetados para transferir calor entre fluidos em uma operação ou processo industrial. Nesses processos existem constantes variações de temperatura, causadas pelos ajustes das condições operacionais ou ciclos térmicos devido a paradas e partidas das unidades e, conseqüente dilatação térmica nos materiais envolvidos.

Nesse processo, ocorre o que se convencionou chamar de cisalhamento, um processo no qual os planos paralelos, deslizam uns sobre os outros por diferencial de dilatação das suas ligas em função da temperatura e tensões a que são submetidas.

Como nas condições operacionais dos Trocadores de Calor as variações de temperatura são uma constante, ocorre, permanentemente, diferença de dilatação térmica. A diferença de dilatação é causada pela variação da velocidade de aquecimento em função de distintas massas dos flanges e é agravada nos casos em que os materiais dos flanges são de ligas heterogêneas. Nestas condições, a junta precisa manter a selabilidade ao mesmo tempo em que resiste ao esforço de cisalhamento (deslizamento) causado pela dilatação diferencial dos flanges e este é o objeto de estudo deste ensaio: a capacidade de resistência das juntas de vedação a esse fenômeno e o quanto ele interfere na garantia da selabilidade.

Este trabalho foi desenvolvido para analisar diferentes tipos de juntas de vedação aplicadas em equipamento de teste desenvolvido especialmente para simular o esforço de cisalhamento radial causado pela dilatação térmica dos flanges de um Trocador de Calor tipo Casco e Tubos.

#### Introdução

---

Em trabalhos anteriores, nosso grupo desenvolveu estudos sobre juntas de vedação do tipo dupla camisa<sup>[1]</sup>, sobre a influência do acabamento de Flanges e de Juntas na selabilidade<sup>[2]</sup> e sobre a selabilidade em flanges com e sem nubbin<sup>[3]</sup>. Para esses trabalhos, foi especialmente projetado e construído um dispositivo de testes, que simula flanges de trocadores de calor segundo a norma TEMA<sup>[4]</sup>. Através desse aparelho de testes e das ações decorrentes da análise de resultados desses estudos, foi possível promover o aperfeiçoamento e melhoria nos processos e na forma construtiva de juntas para trocador de calor, bem como nos procedimentos de aplicação das mesmas, além de ser possível compreender, também, alguns efeitos e pontos que contribuem para a garantia da selabilidade dessas juntas.

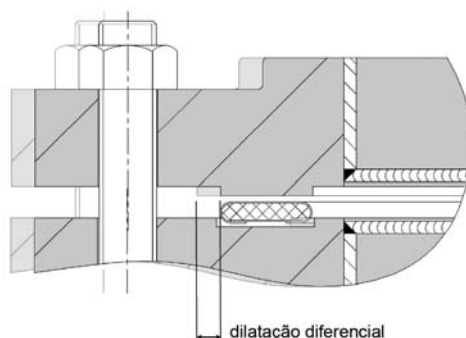
Algumas das melhorias mais evidentes, resultantes desses trabalhos, que contribuem para a redução de vazamentos, foi a adoção, na fabricação, de travessas divisórias soldadas, e não mais inteiriças e repuxadas, nas juntas dupla camisa para trocador de calor e a eliminação do ressalto (nubbin) nos assentamentos dos Trocadores de Calor.

---

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico – Teadit Indústria e Com Ltda

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico – Teadit Juntas Ltda

Até esse período, esses estudos foram realizados no aparelho de teste em temperatura ambiente, o que não reflete com total fidelidade o que ocorre nos processos industriais, onde existem constantes variações de temperatura, causadas pelos ajustes das condições operacionais ou ciclos térmicos devido a paradas e partidas das unidades e onde cada flange de um trocador de calor está sujeito a diferentes temperaturas, causando dilatações diferenciais, conforme mostra a Figura 1.



**Figura 1**

A diferença de dilatação é causada pela variação da velocidade de aquecimento em função de distintas massas no material dos flanges e é agravada nos casos em que os materiais desses flanges são de ligas heterogêneas. Nesta condição, a junta de vedação precisa manter a selabilidade ao mesmo tempo em que resiste ao esforço de cisalhamento (movimento de deslizamento) causado pela dilatação diferencial dos flanges <sup>[5]</sup>, o que significa que é exigido da junta um esforço duplo que pode levá-la a um dano considerável.

A Figura 2 mostra o corte de uma junta dupla camisa fabricada em aço carbono com enchimento em grafite flexível, retirada de um trocador de calor após 2 anos de serviço em uma planta petroquímica, onde foi mantida operando com hidrocarbonetos aromáticos e vapor, nas pressões de 31 / 48 bar e temperatura variando de 235 a 400°C. Pode-se observar a acentuada deformação e degradação da junta.



**Figura 2**

A constatação desses fatos, detectados nessas observações de campo, nos levaram à modificação do equipamento de teste usado nos trabalhos anteriores para desenvolver um projeto de melhoria e evolução do equipamento de modo a que este fosse capaz de reproduzir fielmente as condições de operação de um Trocador de Calor para, inclusive, simular o cisalhamento radial causado pela dilatação térmica diferencial entre os flanges, que é uma característica inerente aos trocadores de

calor e que possui um reflexo muito significativo no comportamento da junta de vedação e, conseqüentemente, na selabilidade do equipamento.

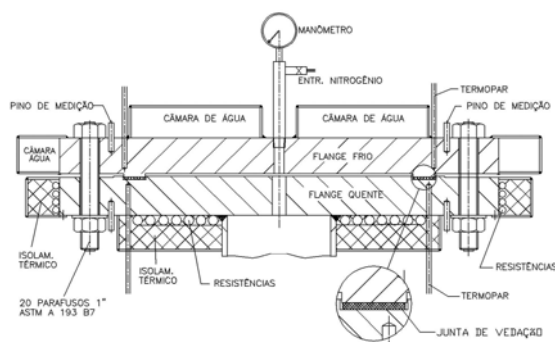
## **Desenvolvimento do novo Equipamento e Método de Teste**

O projeto resultou na criação de um aparelho que permite testar as tensões de deslizamento, assim como a capacidade da junta de resistir a essas tensões ou esforços. O aparelho passou a ser adotado no laboratório de ensaios e foi denominado Teste de Esforço Radial de Cisalhamento da Teadit (Radial Shear Tightness Test - “T-RaST”).

O T-RaST utiliza um par de flanges do tipo lingüeta-ranhura, que são usuais em Trocadores de Calor, sendo que o flange superior é refrigerado a água e o inferior é aquecido, eletricamente, para gerar a dilatação diferencial. As dimensões da juntas de vedação que são instaladas no aparelho são: diâmetro externo 453mm, diâmetro interno 427mm e espessura de 3,2mm. A Figura 3 mostra o equipamento T-RaST e a Figura 4 é um esboço do desenho esquemático do mesmo.



**Figura 3**



**Figura 4**

Para medir a dilatação térmica entre os flanges, foram instalados dois pinos na posição do diâmetro externo da junta de vedação. Quatro termopares instalados em cada flange foram utilizados para controlar as temperaturas próximas da região da junta de vedação.

Como na construção do T-RaST previu-se a necessidade de criar método para apurar o relaxamento da junta de vedação, foram usados parafusos com o comprimento calibrado, que permitem verificar com precisão o relaxamento da junta de vedação. A força de aperto dos parafusos é calculada, após medir o comprimento dos mesmos.

Para este trabalho o equipamento de teste T-RaST foi ajustado para uma temperatura de aproximadamente 300°C e 1,66mm de dilatação diferencial medida entre os pinos dos flanges ou 0,83mm de movimento radial cisalhante (deslizamento) na superfície da junta. Esses parâmetros foram adotados porque as verificações no campo, mostraram que a maioria dos trocadores de calor gera um movimento de cisalhamento radial entre 0,254mm e 1,016mm, durante o aquecimento<sup>[6]</sup>. Foi aplicada a pressão de aperto sobre a junta de 215MPa com uma tensão, nos parafusos, de 390MPa, que são valores usuais para as aplicações em trocadores de calor.

## Testes das Juntas tipo I, II e III

---

### *Procedimento de Instalação e Teste*

As juntas de vedação são instaladas e testadas de acordo com o seguinte procedimento:

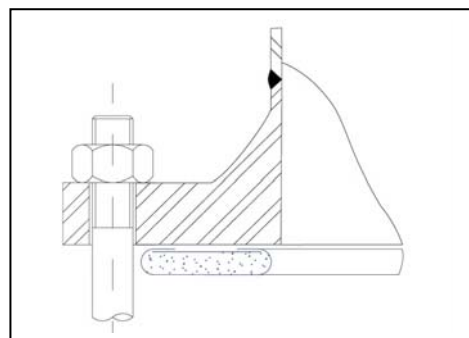
1. Medir o comprimento dos parafusos sem carga.
2. Medir o comprimento dos parafusos com carga de 390MPa.
3. Instalar a junta de vedação e apertar os parafusos em quatro etapas, usando uma seqüência cruzada até o torque final. Continuar repassando o aperto até que não haja mais rotação de qualquer porca.
4. Abrir a válvula de fluxo de água.
5. Após 30 minutos reapertar todos os parafusos. Esperar mais 30 minutos e reapertar, novamente.
6. Medir e registrar o comprimento inicial dos parafusos, após aperto.
7. Pressurizar a câmara de gás com nitrogênio a 40bar.
8. Fechar a válvula de entrada de nitrogênio e registrar a queda de pressão durante 4 horas.
9. Medir e registrar o comprimento dos parafusos.
10. Registrar a temperatura dos flanges superior e inferior.
11. Registrar a distância entre os pinos de medição para os dois flanges.
12. Purgar o nitrogênio da câmara de gás.
13. Ligar o sistema de aquecimento, do flange inferior, ajustando até 300°C.
14. Quando o flange inferior atingir 300°C, registrar as temperaturas dos termopares próximos da área de vedação e a distância entre os pinos de medição de ambos os flanges.
15. Desligar o sistema de aquecimento e aguardar até que o flange inferior retorne à temperatura ambiente.
16. Medir e registrar o comprimento dos parafusos.
17. Repetir passos 13 a 15 por 15 ciclos e, então, repetir o teste de vazamento dos passos 7 a 12.
18. A seqüência de ciclos prevista no item 16 é repetida até atingir um total de 100 ciclos térmicos.

### *I- Junta de Vedação tipo Dupla-Camisa*

A primeira junta de vedação a ser testada foi uma junta do tipo dupla camisa, fabricada em aço inox 304 com enchimento de grafite flexível, conforme mostram as imagens da Figura 5 e seu desenho esquemático de aplicação na Figura 6.

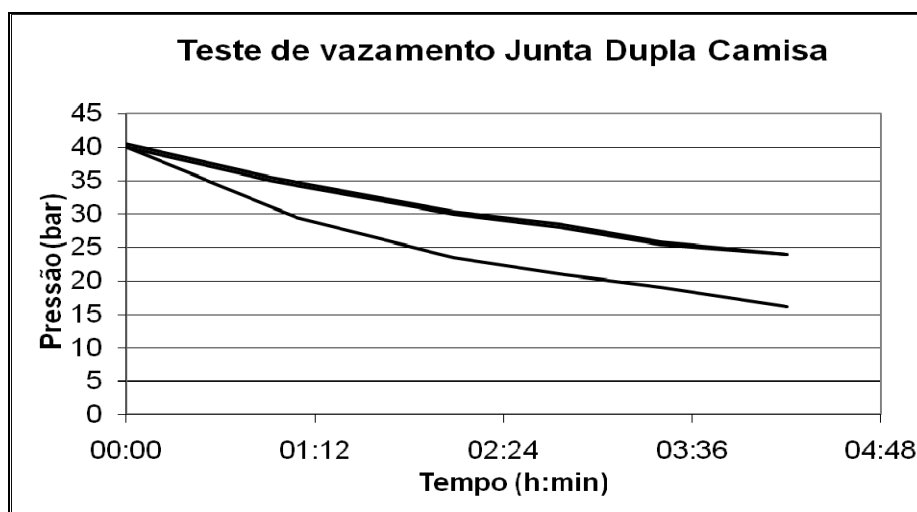


**Figura 5**



**Figura 6**

Estas juntas apresentaram vazamento no teste em temperatura ambiente, conforme mostra a queda de pressão na Figura 7. Três juntas foram testadas para assegurar a consistência dos resultados desfavoráveis. A taxa de vazamento médio para as três juntas foi de 21mg/(s.m).

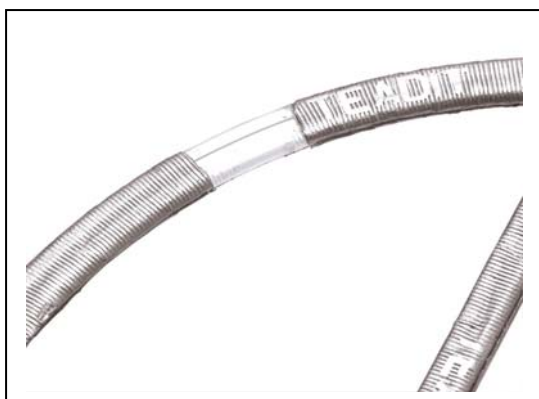


**Figura 7**

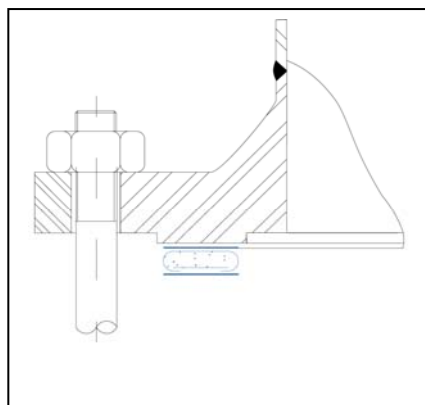
Conclusão I- Devido ao baixo nível de desempenho, foi decidido que não seria relevante fazer o teste com ciclagem térmica para este tipo de junta de vedação, já que nem mesmo na condição mais amena (temperatura ambiente), elas corresponderam à performance esperada. Ou seja, embora universalmente adotada há anos, essa junta foi superada na sua forma construtiva original.

#### *II- Junta de Vedação tipo Dupla-Camisa com revestimento superficial de Grafite Flexível*

A junta de vedação tipo dupla camisa com revestimento externo superficial em grafite flexível, conforme Figuras 8 e 9, é a melhoria e o aperfeiçoamento do processo fabril da junta anteriormente relatada (I).



**Figura 8**



**Figura 9**

Esta versão de junta, evoluída, foi adotada, há anos, pelo mercado por seu desempenho reconhecido e, comprovadamente, superior e tornou-se muito comum nas aplicações em trocadores de calor e, portanto, foi escolhida para ser testada em seguida de modo a que fossem obtidos dados

comparativos que criassem parâmetros de comportamento entre diferentes juntas. Três peças dessas juntas foram testadas.

Os resultados iniciais foram muito bons, sem vazamentos à temperatura ambiente, mesmo após 65 ciclos térmicos. Porém, quando o equipamento de teste foi aberto, o dano causado pelo esforço radial de cisalhamento a que a junta esteve submetida, devido às dilatações diferenciais entre os flanges superior e inferior entre os quais a mesma estava instalada, ficou claramente visível. A aba de fechamento do perfil foi deformada pelo esforço de cisalhamento, conforme Figuras 10 e 11.



**Figura 10**



**Figura 11**

O torque para afrouxar os parafusos estava em aproximadamente 20% do inicial, indicando uma perda de aperto dos parafusos, significativa, de cerca de 80%, causada pela degradação da junta.

Mais duas juntas foram testadas, subindo o número de ciclos térmicos para 100.

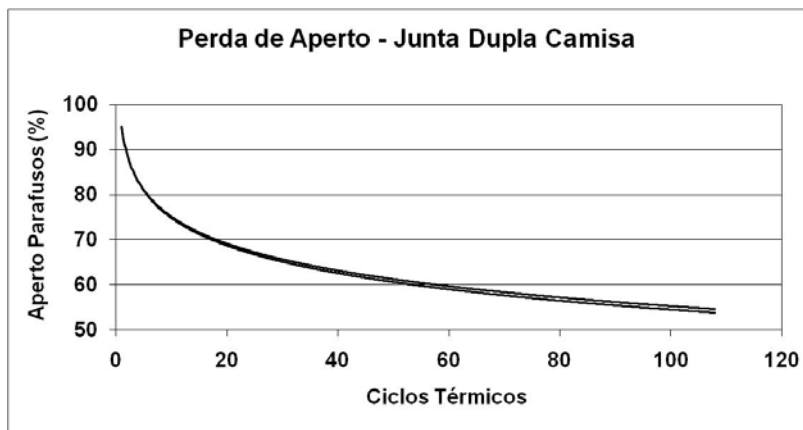
Devido à alta perda de torque verificada com a primeira junta testada, decidiu-se medir a força de aperto dos parafusos, a partir do segundo teste, usando parafusos calibrados. Neste procedimento, o comprimento do parafuso é medido, em temperatura ambiente, usando-se um micrômetro.

Os resultados, da segunda e da terceira juntas testadas, foram muito semelhantes aos da primeira. O efeito de esforço cisalhante, causado pelo movimento dos flanges sobre as superfícies de vedação, é perfeitamente visível na Figura 12.



**Figura 12**

O gráfico de perda de aperto dos parafusos, mostrado na Figura 13, comprova uma contínua perda de aperto. No final de 100 ciclos, os parafusos tinham somente 55% do seu aperto inicial. A curva do gráfico é uma média de todos os parafusos do flange em cada teste.



**Figura 13**

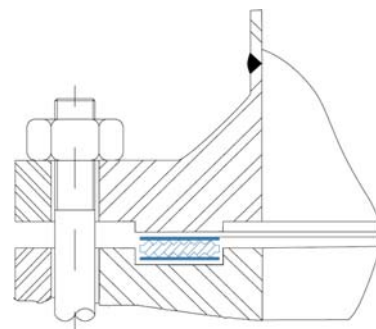
Conclusão II : Apesar da perda de aperto dos parafusos, não foram detectados vazamentos, durante os testes das três juntas. O revestimento superficial com grafite flexível é uma melhoria na selabilidade, por um curto período, mas não soluciona a suscetibilidade à degradação, causada pelo esforço radial de cisalhamento, das juntas dupla camisa.

### III – Junta de Vedação tipo Camprofile

Devido aos problemas encontrados, no campo, com as juntas tipo dupla camisa, tem-se convencionado o uso, em seu lugar, de juntas tipo Camprofile. A junta Camprofile é um anel serrilhado com revestimento superficial de grafite flexível, conforme mostrado nas Figuras 14 e 15.

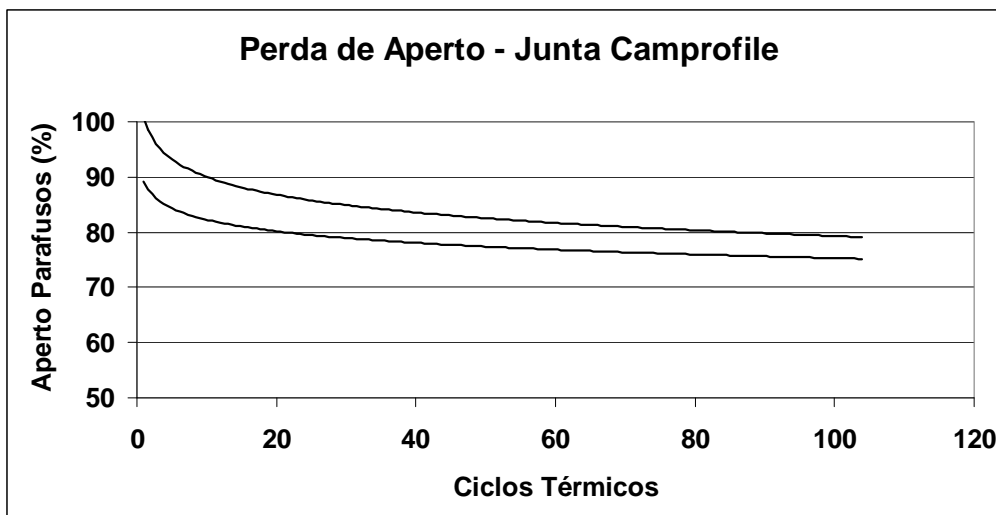


**Figura 14**



**Figura 15**

Decidiu-se, então, testar este tipo de junta para confirmar se os resultados de campo poderiam ser confirmados no equipamento de teste. Duas juntas foram testadas, obtendo resultados semelhantes. Após 100 ciclos não ocorreu perda de pressão o que leva à conclusão de que não houve vazamento perceptível. No gráfico mostrado na figura 16, verifica-se uma perda de aperto apenas nos primeiros 40 ciclos. Após este ponto, o aperto permanece estável e mantido na faixa de 75% e 80% do inicial.



**Figura 16**

As juntas de vedação tipo Camprofile, testadas, confirmam que, quando fabricadas com um serrilhado usinado com passo e profundidade adequados, o revestimento superficial de grafite flexível não é retirado pelo movimento cisalhante dos flanges. A figura 17 mostra a junta após ter sido removida do equipamento de teste.



Comprovou-se que o grafite flexível mantém-se na área de vedação, revestindo completamente a superfície do anel metálico da junta, que, por sua vez, não toca, em momento algum, a superfície do flange.

**Figura 17**

A figura 18 mostra o revestimento de grafite flexível após ter sido desprendido do anel metálico. A pressão de aperto sobre a junta de vedação aumenta a densidade do grafite criando um filme que atua como lubrificante entre o anel metálico e o flange.



**Figura 18**

### **Conclusão Final sobre os 3 tipos de Juntas Testadas**

Juntas de vedação do tipo dupla camisa são sujeitas à degradação, se usadas em aplicações com esforços radiais de cisalhamento. Os testes confirmaram que aplicando-se revestimento superficial de grafite flexível na junta dupla camisa, ocorre uma significativa melhora na selabilidade da junta, porém essa melhora se mantém apenas por um período. Verificou-se sinais de degradação das juntas dupla camisa, causados pelo efeito ao qual ficam submetidas devido à dilatação diferencial dos flanges. Os resultados obtidos no T-RaST confirmam as observações de campo ao remover juntas de trocadores de calor que operam com ciclos térmicos frequentes.



Os resultados dos testes realizados no equipamento T-RaST comprovam que não ocorreu vazamento na aplicação das juntas Camprofile e que ocorreu uma perda de aperto aceitável, após 100 ciclos térmicos.

*Conclui-se que, apesar de serem usadas intensamente, as juntas dupla camisa não são a melhor opção para aplicações em trocadores de calor. Os testes mostram que as juntas do tipo Camprofile, adequadamente projetadas e fabricadas sob rigoroso critério dimensional com passo de usinagem correto, são a melhor escolha para aplicações em trocadores de calor.*

Adicionalmente, conclui-se que, através do equipamento de teste de esforço radial de cisalhamento da Teadit (Teadit Radial Shear Test - “T-RaST”) comprovou-se que é possível projetar, desenvolver e construir um dispositivo de teste que reproduz as condições operacionais de campo, em laboratório.

Com isso, dispomos de uma ferramenta eficiente para desenvolver e qualificar juntas de vedação em aplicações suscetíveis a esforços radiais de cisalhamento.

## **Referências bibliográficas**

---

- [1] *Industrial Gaskets*, 3rd Edition, 2003 - José Carlos Veiga – Teadit Ind. Com. Ltda., Rio de Janeiro, Brasil.
- [2] *The Influence of the Gasket Finish on the Sealability of Double Jacketed Gaskets used in Heat Exchangers* – J. C. Veiga, N. Kavanagh, PVP Volume 405, Analysis of Bolted Joints 2000, ASME Pressure and Piping Conference 2000, Seattle, Washington, USA.
- [3] *Double-jacketed gaskets for heat exchangers sealability behavior in flanges with and without nubbin* - J. C. Veiga, N. Kavanagh, 2005, ASME Pressure and Piping Conference, Dever, CO, USA.
- [4] *Standards Tubular Exchanger Manufactures Association*, TEMA, Tarrytown, NY, USA.
- [5] Brown, W., “*The Suitability of Various Gaskets Types for Heat Exchanger Service*”, 2002, ASME Pressure and Piping Conference, Vancouver, BC, Canada, Vancouver, BC, Canada.
- [6] Brown, W. and Reeves D., “*Failure of Heat Exchanger Gaskets due to Differential Radial Expansion of the Mating Flanges*”, 2001, ASME Pressure and Piping Conference, Atlanta, Georgia, USA.