

# Substituição do processo de expansão pela soldagem TIG (GTAW) na fixação de tubos em trocadores de calor

B.L.A. Santos<sup>1</sup>; W.S. Alves<sup>2</sup>; A.C.N. Jesus<sup>3</sup>; C. J. Kan<sup>4</sup> e D. Oliveira<sup>5</sup>

**Resumo** — A fabricação de trocadores de calor é um processo que envolve diversas etapas como o processo de união dos tubos nos furos do espelho. O processo utilizado atualmente por algumas empresas é a expansão destes tubos nos furos do espelho. A expansão dos tubos é um processo demorado e que não garante a estanqueidade da união. Os vazamentos são detectados durante o teste pneumático. Um processo alternativo para realizar a união dos tubos no espelho do trocador de calor é a soldagem. Além da soldagem será feito teste de líquido penetrante para verificação de imperfeições que podem levar a um vazamento no teste de estanqueidade. O processo de soldagem apresentou tempos menores quando comparado com o processo de expansão. O ensaio de líquido penetrante também apresentou bons resultados, pois evitou o retrabalho após o teste de pneumático.

**Palavra-Chave:** Soldagem, Trocador de calor, Tubos

**Abstract** - The manufacture of heat exchangers is a process that involves different steps such as the process of joining the tubes in the mirror holes. The process used currently by some companies is the expansion of these tubes in the holes of the mirror. The expansion of the pipes is a time consuming process and does not guarantee the tightness of the joint. Leaks are detected during the pneumatic test. An alternative process to realize the union of the tubes in the mirror of the heat exchanger is the welding. In addition to the welding will be done penetrating liquid test to check for imperfections that can lead to a leak in the tightness test. The welding process presented smaller times when compared to the expansion process. The penetrating liquid test also showed good results, as it avoided rework after the tire test.

**Keyword:** Welding, Heat Exchanger, Tubing

## INTRODUÇÃO

A função dos trocadores é realizar o processo da troca térmica entre dois fluidos com temperatura diferente. Este

B. L. A. Santos<sup>1</sup>, Graduando do Curso de Engenharia de Produção - Centro Universitário ENIAC (e-mail: bruno.leonardo@globo.com).

W. S. Alves<sup>2</sup>, Graduando do Curso de Engenharia de Produção - Centro Universitário ENIAC (e-mail: williansgiovanna06@gmail.com).

A. C. N. Jesus<sup>3</sup>, Professor Mestre, Pesquisador do NUPE - Núcleo de Pesquisa ENIAC, Centro Universitário ENIAC (e-mail: antonio.jesus@eniac.edu.br).

C. J. Kan<sup>4</sup> Professor Doutor em tecnologia da informação - Professor do Centro Universitário ENIAC (e-mail: cao.ji@eniac.edu.br)

D. Oliveira<sup>5</sup> Professor Doutor em tecnologia da informação - Professor do Centro Universitário ENIAC (e-mail: daniel.oliveira@eniac.edu.br)

dispositivo pode ser usado na produção de energia, aquecimento e resfriamento de ambientes, processos químicos, etc. Devido às novas políticas de conservação de energia, os projetos de trocadores de calor são constantemente aperfeiçoados para melhorar seu desempenho [1]. Nos trocadores de calor temos dois fluidos circulando por dois circuitos independentes, sendo o fluido quente e o fluido frio. Um desses fluidos passa por dentro dos tubos do feixe tubular, que é denominado fluxo pelos tubos; o outro fluido passa por fora do feixe tubular, que é denominado fluxo pelo casco. Esses dois circuitos são usualmente designados como lado dos tubos e lado do casco respectivamente. Cada um desses dois circuitos pode ser feito em uma só passagem, ou em várias passagens sucessivas. Com esses circuitos, denomina-se o nome trocador de calor [2].

O trocador de calor é um componente essencial para o sistema de refrigeração de uma unidade compressora, sendo um dos principais responsáveis pelo correto funcionamento do ciclo de refrigeração do sistema, esse sistema pode ser fechado ou aberto, onde o trocador é responsável pela transferência de calor, seja aquecimento ou resfriamento. O ciclo de refrigeração é a forma de transferência de calor, de um ponto de baixa temperatura para um ponto de alta temperatura, através das entradas e saídas de calor, como demonstrado na Figura 1 a seguir.

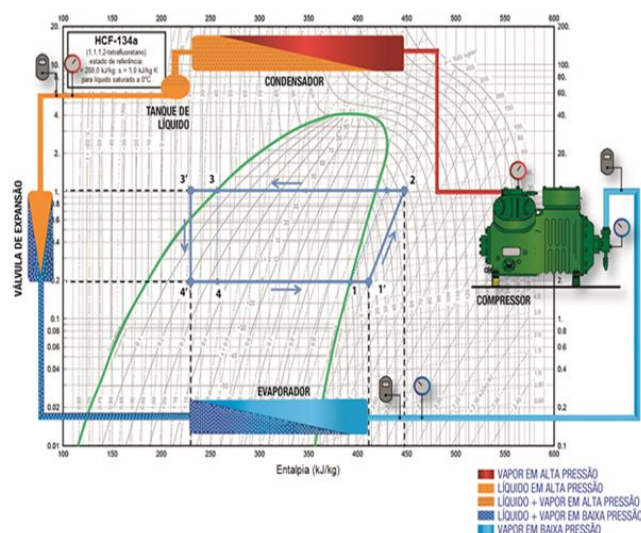


Fig. 1. Ciclo de refrigeração. [3]

A falha no funcionamento de um trocador de calor pode acarretar na parada parcial do sistema, ou até mesmo na parada total. Outro ponto é a sua aplicação, pois atua diretamente com o fluido aplicado no sistema, onde um vazamento pode ocasionar um problema com danos sérios ao meio ambiente, ou até mesmo, a uma fatalidade do porte de grandes proporções.

#### A. Fabricação dos trocadores de calor

O trocador de calor, objeto deste estudo, serve para resfriar o óleo que circula dentro do equipamento. No lado tubo, circula amônia líquida em baixa temperatura, com pressão aproximada de 10kgf/cm<sup>2</sup>. Já no lado casco, passa o óleo a ser resfriado, com pressão aproximada de 13 kgf/cm<sup>2</sup>. A fabricação do trocador é realizada através de processos lentos e de pouca confiabilidade. O trocador é constituído por um tubo de diâmetro variado entre 8 a 12 polegadas, no interior do mesmo é constituído por um feixe de tubos trefilados com diâmetro de 19 mm, e chicanas que são montadas intercaladas e em suas duas extremidades são montados dois espelhos, os tubos trefilados são encaixados dentro dos furos que tem no espelho. Após a montagem do mesmo, é realizada a expansão (Figura 2) dos tubos trefilados por meio de um equipamento de expansão e o torque é controlado por um limitador.



Fig. 2. Detalhe do processo de expansão dos tubos trefilados. [Fonte: Autor]

Após a expansão, é realizado o primeiro teste de pressão, sendo no lado dos tubos, onde é verificado se há vazamentos entre os tubos e o espelho. Este processo demora aproximadamente 11 horas e 30 minutos para ser finalizado, onde se ocorrer algum vazamento, será necessário refazer a expansão de todos os tubos novamente, e realizar novo teste. Com isso, o tempo de fabricação sobe para 23 horas. Após a conclusão dessa etapa, entra a finalização do trocador, com a montagem das tampas de entrada e saída de amônia, que são parafusadas. Nesta etapa há uma grande perda de tempo, com a montagem das tampas e o teste do lado do casco, demorando aproximadamente 03 horas, onde se aparecer vazamentos na tampa, será necessário realizar todo o procedimento novamente, durando mais 03 horas. O objetivo deste trabalho é propor uma melhoria no processo de união dos tubos com o espelho, onde os tubos que eram expandidos serão soldados (Figura 3). Com essa mudança de processo irá ocorrer diminuição no tempo de fabricação, é uma melhora na estanqueidade dos tubos, pois será acrescentado no processo,

um ensaio não destrutivo por líquido penetrante, para averiguar se há trincas nos tubos trefilados e na solda, evitando que seja refeito o teste pneumático.

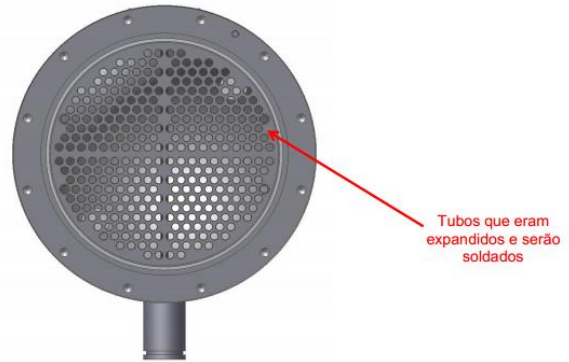


Fig. 3. Região onde os tubos serão soldados no espelho do trocador de calor. [Fonte: Autor]

## MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Soldagem

Foi utilizado o processo a arco gás – tungstênio, chamado também de TIG ( *Tungsten Inert Gas*). O metal de adição utilizado foi o ER 705-3 e o material do espelho é um aço ASTM A516 grau 70. O tubo que será fixado no trocador de calor é de aço baixo carbono sem costura trefilado conforme norma ASTM A179.

O estudo para a melhoria começou no desenvolvimento da aplicação da soldagem no espelho, como demonstrado na Figura 4. Foi desenvolvido um espelho com chanfro na cavidade para os tubos, para uma melhor penetração da soldagem, a fim de evitar qualquer tipo de vazamento.

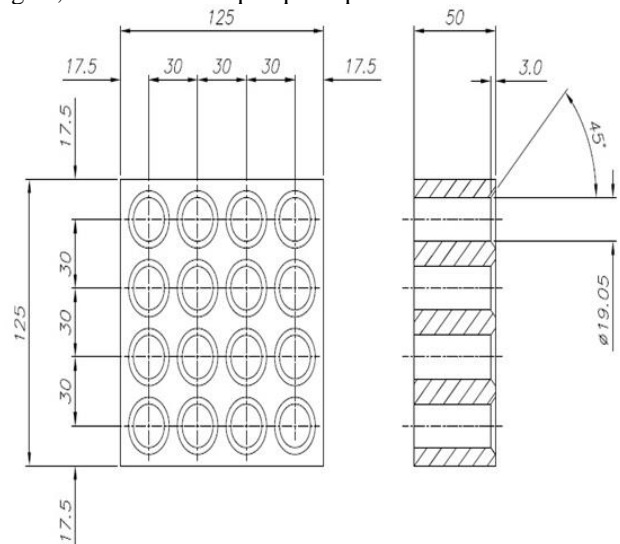


Fig. 4. Esquema do chanfro do espelho. [Fonte: Autor]

### B. Ensaio de líquido penetrante

Com a soldagem, teve-se a possibilidade de aplicar um ensaio não destrutivo por líquido penetrante. Este ensaio apresenta uma maior garantia, pois possibilita a verificação de

descontinuidades superficiais (trincas, poros, mordeduras, falta de fusão, falta de penetração), assim, evitando a perda de tempo no teste pneumático, onde pode nos mostrar se há alguns possíveis pontos para vazamentos.

O ensaio por líquido penetrante consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido vermelho, denominado penetrante; após a remoção do excesso de líquido na superfície, faz-se o líquido retido sair da descontinuidade por meio da aplicação de um revelador. A imagem da descontinuidade fica, então, desenhada sobre a superfície [4].

Os ensaios de líquido penetrante foram realizados conforme ABNT NBR 16450:2016 [5].

## DISCUSSÃO E RESULTADOS

Como pode ser analisado na tabela I, o tempo de fabricação do tubo foi reduzido devido a alteração de processo de fixação dos tubos no espelho. O processo de soldagem quando comparado com o processo de expansão reduziu em 28,6% o tempo de fabricação (8 horas/unidade).

A fixação dos tubos pelo processo de solda TIG produziu uniões mais estanques, pois o arco elétrico na soldagem TIG é bastante estável [6]. Após a soldagem é realizado o ensaio de líquido penetrante para verificar a ocorrência de trincas. Caso sejam reveladas trincas, esta região é novamente soldada antes do ensaio pneumático. A figura 5 mostra os tubos fixados no espelho pelo processo de soldagem TIG, não houve ocorrência de trincas e descontinuidades superficiais.



Fig. 5. Tubos soldados pelo processo TIG no espelho do trocador.  
[Fonte: Autor]

TABELA I  
COMPARAÇÃO DOS TEMPOS ENTRE OS PROCESSOS ANTIGO (UNIÃO POR EXPANSÃO) NOVO (UNIÃO POR SOLDAGEM).

Etapas	Tempo do Processo Antigo	Tempo do Processo Novo
Corte do tubo do corpo	30 min	30 min
Traçagem dos bocais	30 min	30 min
Abertura dos bocais	30 min	30 min
Montagem dos bocais	30 min	30 min
Soldagem dos bocais	4 horas	4 horas
Montagem do feixe tubular	3 horas	3 horas
Montagem dos espelhos	1 hora	1 hora
Expansão dos tubos nos espelhos	10 horas e 30 min	-
Soldagem dos tubos nos espelhos	-	2 horas
Ensaio não destrutivo	-	30 min
Teste pneumático (lado dos tubos)	1 hora	1 hora
Montagem das tampas de entrada e saída	1 hora	1 hora
Soldagem das tampas de entrada e saída	2 horas	2 horas
Montagem das tampas no corpo	2 horas	2 horas
Ensaio visual de solda	30 min	30 min
Teste pneumático (lado do casco)	1 hora	1 hora
TOTAL	28 horas	20 horas

Abaixo a Tabela II, apresenta o custo de fabricação do processo antigo e a tabela III o custo de fabricação do processo novo. Houve uma redução 6,65% de valor na fabricação do equipamento com a utilização do processo novo comparado com o processo antigo, mostrando que não foi somente viável com a diminuição de tempo, mas também com a diminuição dos custos de fabricação. Esta redução no custo de fabricação é devido a mão de obra da soldagem ser menos onerosa que a mão de obra no processo de expansão.

TABELA II  
CUSTO DE FABRICAÇÃO DO PROCESSO ANTIGO.

Processo Antigo	
Etapas	Valores (R\$)
Material	13.851,51
Mão de obra na montagem e soldagem	3.022,50
Mão de obra na expansão dos tubos	1.627,50
Mão de obra no teste pneumático	155,00
TOTAL (R\$)	18.656,51

TABELA III  
CUSTO DE FABRICAÇÃO DO PROCESSO NOVO.

Processo Novo	
Etapas	Valores (R\$)
Material	13.851,51
Mão de obra na montagem e soldagem	3.022,50
Mão de obra na soldagem dos tubos	310,00
Mão de obra no ensaio	77,50
Mão de obra no teste pneumático	155,00
TOTAL	17.416,51

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de soldagem TIG apresentou resultados satisfatórios, no entanto, neste trabalho não foi possível apresentar detalhes das regiões das juntas pelos dois processos estudados. Estudos adicionais envolvendo análise metalográfica das regiões soldadas e expandidas serão realizados. A análise metalográfica destas regiões podem fornecer detalhes do aspecto das trincas que causaram vazamentos no processo de expansão, bem como detalhes da região do processo de soldagem mostrando a região sem defeitos.

## CONCLUSÃO

A mudança no processo de fixação dos tubos trefilados por expansão para a soldagem foi de grande importância para a empresa, onde houve, redução de tempo para a fabricação de cada equipamento, além de redução de custo no valor final do equipamento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as contribuições dos professores: Dr. Daniel Oliveira e Dr. Thiago Assumpção, ambos do NUPE – ENIAC.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] F. Kreith, *Princípio de Transferência de Calor*, 7ª ed., São Paulo: Cengage Learning, 2014, p. 67.
- [2] P. C. S. TELLES, *Vasos de Pressão*. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2001, p.120.
- [3] HEATMKT. Conceitos básicos de refrigeração. Disponível em <<http://www.resfriando.com.br/conceitos-basicos-de-refrigeracao/>>. Acesso em 19 mar. 2017.
- [4] SENAI. Soldagem - Área Metalurgia. São Paulo: SENAI-SP, 2013.
- [5] ABNT NBR 16450: 2016 – *Ensaio não destrutivo – Líquido Penetrante – Qualificação de Procedimento*, fevereiro 2016