

COMPARAÇÃO DAS TÉCNICAS DE SOLDAGEM A QUENTE E A FRIO EM FERRO FUNDIDO

Mateus Marodin¹

Warley Augusto Pereira²

RESUMO

A soldagem em peças de ferro fundido sempre foi uma tarefa difícil devido à baixa soldabilidade deste material, que é muito temperável e frágil. A fim de verificar o comportamento da soldagem em ferro fundido e tentar minimizar os problemas inerentes a ela, avaliou-se nesta pesquisa a soldagem em ferro fundido cinzento usando as técnicas de soldagem a quente (chapa pré-aquecida) e a frio (chapa em temperatura ambiente). Analisou-se também o efeito da temperatura de pré-aquecimento e do tipo de eletrodo revestido sobre aspectos geométricos do cordão de solda. Para isso, realizaram-se testes com eletrodo ENi-CI (92.18) de níquel puro, próprio para soldagem em ferro fundido, e com eletrodo E7018, comuns nas oficinas de manutenção. Após a soldagem dos corpos de prova, observou-se que, mesmo travados durante a soldagem, nenhum corpo de prova apresentou trincas, nem mesmo a peça soldada onde nenhuma das técnicas experimentadas foi usada. Verificou-se também que a técnica a quente apresentou maior preenchimento do chanfro em cada passe e maiores penetrações nas mesmas faixas de corrente de soldagem. Constatou-se ainda que, em temperaturas de pré-aquecimento maiores, esse efeito de preenchimento do chanfro e de penetração foi ainda maior. Outro efeito observado foi que a soldagem com o eletrodo AWS E7018 apresentou uma maior deposição de material e maior penetração do que com o eletrodo ASME SFA 5.15 - ENi-CI (92.18) de níquel puro, em ambas as técnicas.

Palavras-chave: Trincas. Tensão interna. Soldabilidade. Eletrodo revestido.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Rio Verde, GO.

² Orientador, doutor em Engenharia Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre soldagem mostram que desde as mais remotas épocas já existia a confecção de peças soldadas por forjamento e, posteriormente, por brasagem. As modernas técnicas de solda começaram a ser moldadas desde o descobrimento do arco elétrico, assim como a sintetização do gás acetileno, permitindo que se iniciassem alguns processos de fabricação de peças utilizando estes novos recursos (BOND, 1999).

O ferro fundido é muito utilizado na indústria pelo seu baixo custo e sua fácil usinabilidade e fundição; porém, o ferro fundido não possui uma boa soldabilidade, pois seu nível de carbono é muito elevado, além de ter baixa ductilidade, o que não permite que este material absorva as contrações originadas durante a soldagem. Diferente dos aços, a soldagem do ferro fundido não é empregada na fabricação, mas sim em reparos de peças danificadas em serviço, ou de peças fraturadas ou desgastadas (BOND, 1999).

Os ferros fundidos são ligas Fe-C-Si com uma grande quantidade de carbono em sua composição, sempre superior a 2%, mas raramente superior a 4%. O teor de silício varia normalmente entre 0,5% e 3%. Também há a presença de manganês com teores inferiores a 1% e enxofre com teores abaixo de 0,2%. De acordo com Callister (2007), existem vários ferros fundidos, como o cinzento, o branco, o nodular, o mesclado e o maleável. As principais características de cada um deles são (CHIAVERINI, 2012):

- *Ferro fundido cinzento*: liga ferro-carbono-silício, com teor de carbono entre 2,5% e 4% e silício presente em teores de 1,2% a 3%. Os elevados teores de carbono e de silício promovem a formação parcial de carbono livre, em forma de lamelas ou veios de grafita sobre uma matriz de ferrita ou perlita. Por isso, o ferro fundido cinzento apresenta fratura com coloração escura;
- *Ferro fundido branco*: liga ferro-carbono-silício, com teor de silício geralmente inferior a 1%. Devido a essa menor quantidade de silício e às condições de fabricação, apresenta o carbono quase que inteiramente combinado na forma de cementita, promovendo grande dureza e fragilidade e resultando em uma fratura de coloração clara, de onde vem seu nome;

- *Ferro fundido mesclado*: liga ferro-carbono-silício caracterizada por composição e condições de fabricação de tal ordem que resultam numa fratura de coloração mista entre branca e cinzenta;
- *Ferro fundido maleável*: liga ferro-carbono-silício caracterizada por apresentar grafita na forma de nódulos ou roseta sobre uma matriz de ferrita ou perlita, devido a um tratamento térmico especial em atmosfera controlada (maleabilização) em ferro fundido branco. Esse tratamento térmico decompõe a cementita, formando grafita;
- *Ferro fundido nodular ou ferro dúctil*: liga ferro-carbono-silício com pequenas adições de magnésio e/ou cério ao ferro fundido cinzento que promove, junto com um tratamento térmico (nodulização), a formação de grafita na forma esferoidal sobre uma matriz de ferrita ou perlita. É normalmente mais forte e mais dúctil que o ferro fundido cinzento, com as características mecânicas próximas às dos aços.

Entre os ferros fundidos, existem dois que possuem melhor soldabilidade que os demais, sendo eles os nodulares ou dúcteis e os maleáveis, pois possuem uma maior capacidade de acomodar tensões e, por isso, têm um menor risco de trincas após a soldagem (SOLDAGEM, 2017).

O objetivo deste trabalho é estudar e avaliar a soldagem em ferro fundido cinzento usando a técnica de soldagem a quente (chapa pré-aquecida) e a frio (chapa em temperatura ambiente). Com metas específicas, visa-se testar essas técnicas tanto na soldagem com eletrodo revestido ENi-CI (92.18) de níquel puro, próprio para soldagem em ferro fundido, quanto na soldagem com eletrodo E7018, usado na soldagem de aço estrutural.

1.1 Soldabilidade dos ferros fundidos

Os ferros fundidos possuem um alto teor de carbono e silício em sua composição química, tendo, portanto, baixo alongamento, o que dificulta sua soldagem, pois formará uma zona afetada pelo calor (zona de transição), com uma região de dureza elevada devido ao aparecimento de cementita (Fe_3C) e até de martensita, mais duras e mais frágeis. Esse tipo de região explica por que o ferro fundido trinca durante o processo de soldagem, um resultado da variação de temperatura, que provoca tensões diferenciais como dilatação e contração da peça devido ao calor localizado, reduzindo sua soldabilidade. Assim, se não forem tomados alguns

cuidados para evitar essas tensões diferenciais causadas pela variação de temperatura entre o cordão de solda e o metal base, a soldagem do ferro fundido é praticamente impossível (CALLISTER, 2007).

1.2 Técnicas de soldagem em ferro fundido

De acordo com Balmer (2015) e ESAB (2017), existem basicamente duas técnicas de soldagem em ferro fundido: a quente e a frio, sendo que a soldagem a frio é mais difundida que a soldagem a quente. Nela, geralmente, são depositadas ligas à base de níquel e níquel-ferro. Por haver necessidade de baixo aporte de calor, o processo mais indicado é a soldagem com eletrodos revestidos.

A técnica a frio é indicada em casos em que as peças são grandes demais para haver um controle de temperatura ou quando não pode haver distorção ou deformação pós-soldagem (BALMER, 2015).

Primeiramente, deve-se efetuar a limpeza do local que será soldado, retirando resíduos de graxa e óleo com produtos químicos ou, se possível, aquecer a região até aproximadamente 150 °C. Após a limpeza, deve-se avaliar se há mais alguma fissura, visualmente ou com líquido penetrante ESAB (2017).

Após a limpeza, deve-se chanfrar ou esmerilhar o local que será soldado e, quando há fissuras, devem-se fazer furos em suas extremidades para que a trinca não se propague. Os cordões devem ser curtos, de no máximo 50 mm de comprimento sem “costurar”, ou seja, sem correr o cordão de um lado para o outro do chanfro. Após cada cordão soldado, deve-se retirar a escória, visualizando possíveis falhas e, em seguida, efetuar o martelamento ainda quente para alívio de tensões. O alívio é essencial, pois não se pode efetuar um pré-aquecimento (RECUPERAÇÃO, 2017).

A técnica a quente é utilizada quando são desejadas características mecânicas e aparência visual próxima ao material que será soldado. Na técnica a quente, são depositados consumíveis com composição química similar ao do metal base e também, quando possível, efetua-se a técnica dentro de um forno. Nesse processo de soldagem a quente existem algumas limitações, como: necessidade de um pré-aquecimento em altas temperaturas (acima de 360 °C) e resfriamento lento pós-soldagem (RECUPERAÇÃO, 2017).

A limpeza deve ser feita como no processo a frio, ou seja, deve-se colocar a peça dentro de um forno e aquecê-la entre 250 °C e 350 °C, mantendo essa temperatura. No processo de soldagem a gás com maçarico, soldam-se cordões contínuos e não há martelamento. Após a soldagem, resfria-se a peça lentamente em forno ou estufa (RECUPERAÇÃO, 2017).

1.3 Tipos de eletrodo para soldagem de ferro fundido

Primeiramente, deve-se escolher atenciosamente o eletrodo para efetuar a soldagem, de modo que ele e o processo escolhido produzam um baixo teor de hidrogênio.

De acordo com a ESAB (2017) e Nicrosol (2017), fabricantes de eletrodos para ferro fundido, os principais eletrodos para soldagem dessa liga, de acordo com a classificação AWS/ASME, são:

- ENi-CI: Composição: alma de níquel puro; excelente para solda a quente e a frio, quando o material precisa de usinagem posterior; o material depositado é limável; também utilizado para enchimentos de falhas de fundição;
- ASME SFA 5.15 (ENiFe-CI): Eletrodo com alma de níquel-ferro, utilizado para soldagem dos ferros fundidos cinzento, maleável e nodular, usando a técnica a frio, podendo também ser usado com pré-aquecimento moderado, quando o metal de adição necessitar de usinagem. Também pode ser usado no enchimento de peças fundidas com defeitos. Normalmente, o metal depositado tem a mesma cor da peça fundida;
- ENiCu-B: Eletrodo de níquel/cobre usado na técnica a frio no ferro fundido cinzento. Proporciona depósitos mais macios e limáveis que qualquer uma das ligas de níquel usadas na soldagem no ferro fundido. Além disso, apresenta maior similaridade de cor com relação ao metal base. São excelentes na recuperação de peças fundidas novas com defeitos e em aplicações onde se deseja maior usinabilidade;
- ESt: Eletrodo composto de alma de Fe com revestimento para "amanteigamento" em ferro fundido de qualidade inferior, que possui alto teor de fósforo ou enxofre, podendo estar queimado ou impregnado de óleo; normalmente usado antes da solda com eletrodo de níquel. Também é usado em uniões que não requeiram alta usinabilidade ou resistência mecânica.

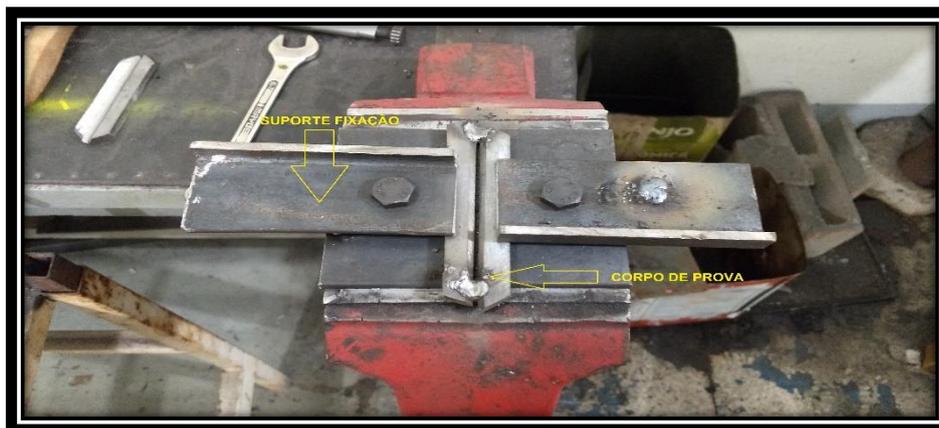
2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizadas as técnicas de soldagem a quente e a frio para ferro fundido cinzento. Para os testes de soldagem, foi usada uma fonte inversora de soldagem, que solda em corrente contínua.

As dimensões dos corpos de prova foram de 100 mm x 10 mm x 6 mm. O aquecimento para a técnica a quente foi realizado em um forno a resistência elétrica, apropriado para que fosse possível ter um controle de temperatura, o que não ocorre normalmente onde os aquecimentos são feitos com maçarico a gás, e a temperatura do metal a ser soldado não é homogênea ao longo da peça. Após a soldagem, esperou-se que a temperatura dos corpos de prova chegasse à temperatura ambiente, para que fosse possível analisar se surgiram trincas neles.

Para realizar os testes, fabricou-se um suporte (Figura 1) para fixar os corpos de prova e simular a tensão que ocorre durante a soldagem, chegando-se mais próximo do que ocorre no dia a dia. Além disso, os corpos de prova foram ponteados para que não houvesse abertura da junta durante a sua soldagem.

FIGURA 1 - Suporte fabricado para a realização dos testes



Fonte: Mateus Marodin, 2017.

Para a técnica a quente, foram feitos testes variando-se simultaneamente a temperatura de pré-aquecimento e o tipo de eletrodo, totalizando quatro corpos de prova. As temperaturas usadas para o pré-aquecimento foram de 600 °C e 800 °C, temperaturas normalmente acima daquelas recomendadas pelos fabricantes, que são da ordem de 350 °C a 600 °C. Os eletrodos utilizados foram o ASME SFA 5.15 - ENi-C1 (92.18) de níquel puro, próprio para a soldagem

em ferro fundido, e o AWS E7018, que não é próprio para ferro fundido, mas é normalmente usado em soldagem de manutenção deste material. As soldagens foram realizadas manualmente por um profissional da área, para que fosse possível simular uma situação real. A corrente usada em ambos os eletrodos foi de 110 amperes.

Na técnica a frio, os corpos de prova foram soldados em temperatura ambiente. Realizaram-se cordões curtos e alternados ao longo do corpo de prova, seguidos de martelamento brando para alívio de tensão. Neste caso, as soldagens também foram feitas utilizando os eletrodos ASME SFA 5.15 - ENi-C1 (92.18) de níquel puro e AWS E7018.

Uma última etapa de testes com cada tipo de eletrodo foi realizada em temperatura ambiente, sem usar nenhuma das técnicas, para simular as condições normalmente usadas nas soldagens de manutenção em ferro fundido.

Para verificar o aspecto dos cordões dos corpos de prova em cada situação de teste, foi feita uma análise macrográfica. Para isto, utilizou-se um policorte refrigerado (Figura 2) para realizar um corte limpo e contínuo sem alteração microestrutural pelo aquecimento excessivo que ocorre no corte com policortes tradicionais. A seguir, as amostras foram lixadas e atacadas com a solução de ácido acético para revelar o perfil da solda.

FIGURA 2 - Policorte refrigerado para o corte dos corpos de prova



Fonte: Mateus Marodin, 2017.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após soldagens realizadas com as duas técnicas, sob diferentes condições de temperatura e com dois tipos de eletrodos, foi possível obter alguns resultados.

Quanto à presença de trincas, observou-se que não ocorreram em nenhuma condição de soldagem testada.

Na técnica a quente, observou-se que a profundidade do cordão foi maior na temperatura de 800 °C do que na temperatura de 600 °C, nos dois tipos de eletrodo. Assim, a soldabilidade foi mais eficaz em temperatura mais elevada e teve uma maior produtividade; porém, as mordeduras na temperatura de 800 °C foram bem maiores e contínuas.

A Figura 3 mostra o teste feito com o eletrodo ENi-CI (92.18) de níquel puro a 800 °C. Na soldagem com essa temperatura, notou-se que o cordão teve uma maior deposição de metal do eletrodo, preenchendo o chanfro quase totalmente, além de ter havido uma boa penetração na lateral e no fundo do chanfro.

FIGURA 3 – Análise macrográfica (soldagem com eletrodo ENi-CI [92.18] a 800 °C)



Fonte: Mateus Marodin, 2017.

A Figura 4 mostra o teste feito com o eletrodo AWS E7018 a uma temperatura de 800 °C. Nesse teste, foi possível observar que houve uma boa deposição de metal do eletrodo, embora um pouco menor que no teste com eletrodo de níquel puro, uma maior penetração lateral, mas menor no fundo do chanfro, além de ter apresentado mordeduras profundas nas extremidades superiores do chanfro ao lado do cordão.

Figura 4 - Análise macrográfica (soldagem com eletrodo E7018 a 800 °C)



Fonte: Mateus Marodin, 2017.

A Figura 5 mostra o corpo de prova soldado com o eletrodo ENi-CI (92.18) de níquel puro na técnica a frio (sem pré-aquecimento). Notou-se que o volume depositado, assim como a penetração, principalmente no fundo do chanfro, foram baixos quando comparados com a soldagem na técnica a quente.

Figura 5 - Análise macrográfica (soldagem com eletrodo ENi-CI [92.18] na técnica a frio)



Fonte: Mateus Marodin, 2017.

A Figura 6 mostra o corpo de prova soldado com o eletrodo AWS E7018 na técnica a frio. Nesse teste, notou-se que houve uma maior deposição de material e uma penetração, principalmente lateral, maior que no caso da soldagem com o eletrodo de níquel puro. Porém, tanto a deposição de metal do eletrodo quanto a penetração foram menores que no caso da soldagem com a técnica a quente, para qualquer eletrodo testado.

Figura 6 - Análise macrográfica (soldagem com eletrodo E7018 na técnica a frio)



Fonte: Mateus Marodin

Os resultados mostraram que, devido ao maior calor fornecido, a soldagem com a técnica a quente apresentou maior deposição de metal e maior penetração para a mesma faixa de corrente de soldagem que a técnica a frio, em todos os testes.

Também foi possível verificar que, em ambas as técnicas, o eletrodo E7018 proporcionou maior deposição de metal e maior penetração que o eletrodo de níquel puro. Isso ocorre, provavelmente, pelo tipo de revestimento do eletrodo E7018, que proporciona um arco mais quente e com maior pressão que o revestimento do eletrodo de níquel. Esse arco mais forte e quente produz maior fusão do metal de adição, aumentando o volume de metal depositado, e maior penetração devido ao arco mais forte escavar mais profundamente o metal de base.

4 CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos, foi possível se chegar às seguintes conclusões:

- Mesmo travados, nenhum corpo de prova apresentou trincas em nenhuma das técnicas testadas, nem na amostra de controle, onde não se aplicou nenhuma técnica especial.
- A técnica a quente apresentou soldas com maiores deposições de metal e maior penetração nas mesmas condições de soldagem.
- Na técnica a quente, tanto o volume depositado quanto a penetração foram maiores em temperaturas mais altas.

- Quanto ao efeito do tipo de eletrodo, o do tipo E7018 apresentou cordões com maior deposição de material e maior penetração que o eletrodo do tipo ENi-CI (92.18) de níquel puro.

REFERÊNCIAS

- BALMER. Soldagem de ferro fundido. 1. Disponível em:
<<http://www.balmer.com.br/balmer/wp-content/uploads/2015/12/Balmer-Soldagem-de-Ferro-Fundido.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2017
- BOND, DANIELLE. Correlação entre microestrutura e variáveis de soldagem em ferro fundido cinzento. 1999. 137 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, FLORIANÓPOLIS, 1999.
- CALLISTER, William D.. Materials Science and Engineering - An Introduction. 7ª edição. John Wiley & Sons, Inc. 2007.
- CATÁLOGO Bambozzi. 1. Disponível em:
<http://www.bambozzi.com.br/website/soldas/index_linha.php?linha=17>. Acesso em: 22 abr. 2017.
- CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. 7ª Edição Ampliada e Revisada, Livros ABM. São Paulo, 2012. 599p.
- ESAB. Catálogo de consumíveis ESAB. P 16. Disponível em:
<<http://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/catalogo-consumiveis-esab.pdf>>. Acessado em: 27/05/2017
- NICROSOL. Produtos/Eletrodos para ferro fundido. Não paginado. Disponível em:
<http://www.nicrosol.com.br/produtos_detalhes.asp?codcategoria=10>. Acessado em: 27/05/2017
- RECUPERAÇÃO de peças de Ferro Fundido trincadas. 1. Disponível em:
<http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/recuperacao_de_pecas_de_ferro_fundido_trincadas.cfm>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- SOLDABILIDADE EM FERRO FUNDIDO. [S.l.]: Exatas. & Engenharia, 2014. Disponível em:<http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas_e_engenharia/article/view/454>. Acesso em: 25 mar. 2017.