

## APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS POR SOLDAGEM CONTRA CORROSÃO EM DUTOS PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO

Joyce Nayane Pereira(1); Homero José França Limeira Neto(2); Theophilo Moura Maciel(3).

Universidade Federal de Campina Grande

joyce\_nayane@yahoo.com.br(1); homero\_magalhaes@yahoo.com.br(2); theophilom@gmail.com(3)

**Resumo:** Nos últimos anos, a aplicação de revestimentos por soldagem ganhou bastante destaque na indústria petrolífera. De maneira geral, tal procedimento é desejado quando se quer aumentar a vida útil da peça, criar superfícies especiais, ou recuperar peças desgastadas por corrosão. Os objetivos desse trabalho consistem em assimilar a importância da aplicação de revestimentos em dutos utilizados para transporte de petróleo, compreender o uso de ligas resistentes à corrosão, e analisar os processos utilizados para soldagem de revestimentos. A metodologia compreendeu a pesquisa e estudo nas literaturas disponíveis, bem como uma busca eletrônica em sites da área, objetivando efetuar um levantamento de dados sobre o tema em questão. A partir disso, foram ressaltadas e discutidas as principais vantagens e desvantagens dos mecanismos de soldagem abordados. Com isso, enfatizou-se a importância sobre os tópicos mencionados, constatando-se que as informações abordadas são primordiais para a seleção do mecanismo de soldagem que venha a suprir as necessidades requeridas.

**Palavras-chave:** corrosão, mecanismos de soldagem, revestimentos.

### 1. INTRODUÇÃO

Em um contexto global, os dutos desempenham papel fundamental no transporte de petróleo e seus derivados, interligando áreas de produção, portos, refinarias e centros consumidores (KENJI, 2007). Em contrapartida, esse modal apresenta limitações no seu uso, com ênfase na corrosão que, quando é de caráter externo, pode se originar por danos no revestimento de produção (TOUÇA E BASTIAN, 2003).

Dessa forma, evitar esse tipo de problema, sem que ocorra um aumento significativo no custo de produção, é de suma importância para a cadeia petrolífera. Para tal, utilizam-se revestimentos que serão interpostos entre o metal e o meio corrosivo, com ênfase nas ligas metálicas, sendo as ligas de níquel e as de aço inoxidável austenítico, as mais relevantes.

Logo, dentre os objetivos desse trabalho estão:

- Assimilar a importância da aplicação adequada de revestimentos em tubulações utilizadas para transporte de petróleo e seus derivados;
- Compreender o uso de ligas resistentes à corrosão;
- Analisar os processos de soldagem utilizados para revestimentos de dutos de condução de petróleo, bem como suas principais vantagens e desvantagens.

## **2. METODOLOGIA**

Para a realização do presente artigo, houve a pesquisa e estudo nas literaturas disponíveis, bem como uma busca eletrônica em sites da área, a fim de se elaborar um levantamento de dados sobre o tema em questão, enfatizando a importância do tema em questão.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Corrosão em Aços**

De maneira geral, pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Tal deterioração, causada pela interação físicoquímica entre o material e o seu meio operacional, representa alterações prejudiciais indesejáveis sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais tornando-o inadequado para seu uso (GENTIL, 2007).

A corrosão pode ocorrer sob diversas maneiras, e o conhecimento dessas é de extrema importância para seu entendimento e estudo. Logo, as mesmas são subdivididas em: uniforme, por pite, por placa, alveolar, intergranular, intragranular, filiforme, esfoliação e grafítica (GENTIL, 2007).

De maneira geral, o tipo de corrosão que ocorre com mais frequência em tubulações de petróleo, é a corrosão por pite, a qual pode ser agravada pela ação de tensões que podem gerar corrosão sob tensão (CST). A CST irá deteriorar materiais, através de uma ação combinada entre tensões residuais ou aplicadas e o ambiente corrosivo. Mesmo não sendo um fenômeno facilmente detectável, sabe-se que a soldagem colabora para o aparecimento da corrosão sob tensão e que a mesma tem mais susceptibilidade de ocorrer em materiais que apresentam boa resistência a corrosão generalizada, como é o caso dos aços inoxidáveis austeníticos (SCHVARTZMAN et al, 2004).

### 3.2. Aço Inoxidável Austenítico

Essas ligas possuem teores de cromo entre 16 e 30%, de níquel de 6 a 26% e menos de 0,3% de carbono, sendo o tipo mais comum o aço AISI 304 (MODENESI, 2011). A presença do níquel nesses aços tem por finalidade aumentar a sua resistência mecânica e acelerar a formação da camada protetora de óxido de cromo e estabilizar a estrutura austenítica na temperatura ambiente e abaixo dela (CHAWLA, 1995 ; GENTIL, 2007).

Em contrapartida, mesmo possuindo uma combinação favorável de propriedades, os aços inoxidáveis austeníticos não são imunes ao aparecimento de problemas durante o procedimento de soldagem. A depender da composição química do metal, trincas por solidificação podem surgir.

### 3.3. Ligas de Níquel

O níquel é um metal utilizado desde o início da civilização, sendo o quinto elemento químico mais abundante na Terra. Atualmente, as ligas de níquel englobam grande parte dos materiais utilizados em situações severas de pressão e temperatura, podendo ser superiores aos aços inoxidáveis em certas condições ambientais. Entretanto, um fator que impede o uso das mesmas em grande escala é o seu elevado custo, portanto opta-se pela aplicação dessas ligas quando outros metais não fornecem as propriedades desejadas.

#### 3.3.1 Superligas de Níquel

As superligas se caracterizam por associarem boa resistência à fadiga e à fluência, assim como ductilidade e rigidez, provendo boa resistência mecânica e à corrosão em altas temperaturas (PEREPEZKO, 2009)..

As ligas que tem o níquel como elemento fundamental, podem ser classificadas em quatro grupos: ligas endurecidas por solução sólida, ligas endurecida por precipitação de intermetálicos, ligas endurecidas por dispersão de óxidos e ligas fundidas. Nessa classificação, as ligas endurecidas por solução sólida, que tem por exemplo ligas Ni-Cu, Ni-Cr, Ni-Fe-Cr, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo, chamam atenção, pois dentro do universo das super ligas, a família Ni-Cr-Mo é um dos grupos mais importantes no que diz respeito ao combate à corrosão (SILVA *et.al.*, 2012). Os elementos adicionados às ligas têm por finalidade melhorar

as propriedades que seriam obtidas apenas com a matriz austenítica (CFC) rica em níquel.

### **3.4. Soldagem de Revestimentos**

Entende-se soldagem como a técnica cuja finalidade é unir duas ou mais partes garantindo continuidade e as características mecânicas e químicas do material (WAINER, 1992). Nesse contexto, nos últimos anos, a soldagem de revestimentos ganhou grande destaque na indústria petrolífera, sendo definida como a deposição de uma camada de metal de adição sobre a superfície de outro metal, com o objetivo de obter propriedades ou dimensões desejadas (PHILLIPS, 1995). De maneira geral, esse processo é aplicado quando:

- Deseja-se um aumento da vida útil de peças, que não funcionam da maneira desejada em uma dada aplicação;
- Há a necessidade de criar superfícies especiais;
- Quer-se recuperar e/ou prevenir a corrosão em algumas peças.

#### **3.4.1 Processo MIG/MAG**

Dentre os procedimentos de soldagem utilizados para revestimentos, destaca-se o MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas). Nesse processo, um arco elétrico é estabelecido entre a poça e um consumível em forma de arame. O arco irá fundir continuamente o arame, à medida que este é alimentado a poça de fusão. Há o fluxo de um gás, ou uma mistura de gases, denominado gás de proteção, que tem por função proteger o metal de solda da atmosfera, evitando a contaminação da poça de fusão (ESAB, 2005). Os gases de proteção mais utilizados são o argônio, o hélio, o dióxido de carbono, o oxigênio, ou mesmo uma mistura entre eles.

Um parâmetro muito importante e que deve ser controlado, é a corrente de soldagem. Ela irá ter influência direta na taxa de deposição, no modo de transferência metálica e nas características geométricas do cordão. Sendo assim, a corrente irá depender da espessura das peças a serem unidas, do diâmetro do eletrodo e das características desejadas dos cordões de solda (NILO JR., 2003).

Quanto a tensão de soldagem, é importante salientar que ela está relacionada ao comprimento do arco. Um aumento da tensão do arco irá proporcionar um aumento do comprimento do arco (ASM, 1993).

A velocidade de soldagem é um parâmetro inversamente proporcional à penetração, largura e altura do cordão de solda, ou seja, para maiores velocidades de soldagem têm-se menores penetrações e menores larguras de cordão (MODENESI, 2005).

### **3.4.2 Processo TIG**

O processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) ou GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) é um procedimento que tem por finalidade unir peças metálicas por meio do seu aquecimento e fusão através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio, que pode ou não ser puro, não consumível, e as peças a unir. Há o uso de um gás inerte, ou de uma mistura de gases, afim de proteger a poça de fusão e o arco elétrico da contaminação da atmosfera. Normalmente, utiliza-se como gás de proteção o argônio ou o hélio (TEIXEIRA, 2011).

O processo TIG alimentado é uma variável do processo TIG convencional, na qual a adição de metal é feita da maneira automática, apresentando melhor produtividade, através de um equipamento denominado sistema tracionador de arame (RIBEIRO, 2012).

Denomina-se Cold Wire, o processo de alimentação do arame realizado de maneira mecanizada, de maneira que a sua introdução no sistema arco/poça é feita a temperaturas ambientes durante a soldagem (RIBERO, 2012).

Já o processo com o arame aquecido é denominado de Hot Wire. Ele é empregado com sucesso em deposições com a finalidade de revestimento em ligas níquel e aços inoxidáveis (DELGADO, 2000).

Quanto aos parâmetros de soldagem, inicialmente tem-se a corrente, a qual possui alta influência na penetração do cordão de solda. Quanto mais intensa a corrente de soldagem, maior a penetração (PRITCHARD, 2001).

A velocidade de soldagem, por sua vez, será proporcional a corrente de soldagem. Preferem-se velocidades de soldagem mais elevadas, visto que isso reduz a ocorrência de distorções (PRITCHARD, 2001).

### **3.4.3 Processo PTA-P**

O PTA-P trata-se de um procedimento que utiliza um eletrodo de tungstênio não consumível que fica no interior da tocha, um bico

constritor refrigerado a água, gás de proteção para a poça fundida, e um gás de plasma. O metal de adição trata-se de um pó, o qual requer um gás para o seu transporte até a região do arco (DIAZ, 2010).

Quando se trabalha com valores de corrente do arco principal demasiadamente altas (cerca de 250 A), ocorre a redução da dureza e há maior oxidação sobre o cordão, devido à elevada diluição (BOND *et al.*, 2005).

Quanto à velocidade de soldagem, irá haver uma influência por parte dela nos cordões de solda (SANTOS NETO, 2003).

#### 4. CONCLUSÃO

Mediante as informações abordadas, é possível concluir que o uso de revestimentos contra corrosão em dutos assume um papel fundamental na indústria petrolífera.

Para a escolha adequada da liga metálica a ser utilizada, deve ser considerado o fator custo-benefício, tendo em vista que as ligas de níquel apresentam propriedades superiores, no que diz respeito à resistência à corrosão, aos aços inoxidáveis austeníticos, porém as mesmas possuem um custo mais elevado, devendo ser escolhidas apenas quando os aços inoxidáveis austeníticos não suprirem as necessidades do projeto.

O MIG MAG tem seu uso aconselhável para soldagem em posições que não são planas, quando se deseja um baixo custo, associado a um cordão de solda com bom acabamento.

O TIG é vantajoso quando utilizado de maneira automatizada, pois isso irá aumentar a sua taxa de produtividade, a qual se apresenta baixa quando o processo é manual. A alimentação com arame quente é bastante utilizada na soldagem de revestimentos e o processo proporciona soldas de maior qualidade, geralmente livres de defeitos.

O PTA-P dentre os métodos abordados é o que apresenta menores taxas de diluição, aspecto muito relevante na soldagem de revestimentos. Quando comparado ao GMAW, apresenta melhores resultados para a resistência a corrosão, com mesmos valores de energia de soldagem.

Pode-se, portanto, inferir que as ligas metálicas, aliadas aos procedimentos de soldagem abordados, são alternativas viáveis para recuperar peças desgastadas por corrosão, mas é de suma importância que o método escolhido seja bem



empregado, a fim de aliar bons resultados de produtividade à ocorrência nula de falhas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASM. Welding Brazing and Soldering. ASM Internacional, 11<sup>a</sup> ed,v.6. Ohio, 1993.

BOND, D., OKIMOTO, P.C, D'OLIVEIRA, A.S.C.M. Efeito da Intensidade de Corrente nas Características de Revestimentos Soldados com Material de Adição Atomizado. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação III COBEF. Joinville, 2005.

CHAWLA, S. L., GRUPTA, R. K. Materials Selection for Corrosion Control. ASM, Metals Park, Ohio, USA. 1995.

DELGADO, L. C. Estudo E Desenvolvimento Do Processo TIG Com Alimentação Automática Do Arame. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DÍAZ, V. V., Dutra, J. C., D'OLIVEIRA, A.S.C.M. Deposição por Plasma com Arco Transferido. Revista Soldagem & Inspeção. São Paulo, Vol. 15, Nº. 1, p.041-051, Jan/Mar 2010.

ESAB, 2005. Apostila de Soldagem MIG/MAG. Disponível em <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0\\_apostilasoldagemmig\\_mag\\_low.pdf](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmig_mag_low.pdf)>. Acessado em: 25 de junho de 2018.

GENTIL, Vicente. Corrosão. 5<sup>a</sup> edição, Rio de Janeiro, 2007.

KENJI, M. H. Otimização da programação de curto prazo de duto bidirecional de derivados de petróleo. Dissertação. 2002. 137 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MODENESI, P.J. Introdução à física do arco elétrico. UFMG, Belo Horizonte, 2005.

MODENESI, P.J. Soldabilidade de Algumas Ligas Metálicas. 2011. Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/soldabilidade.pdf>>. Acesso em: 13 de junho de 2018.

NILO Jr., L. P. Otimização de um processo de solda MIG/MAG para aplicação na indústria automobilística através da utilização da técnica do projeto e análise experimentos.

2003. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

PEREPEZKO, J.H. The hotter the engine, the better. *Science, USA*, v. 326, 2009, p. 1068-1069.

PHILLIPS, A. L. *Welding Handbook: Special Welding Processes and Cutting*. London: American Welding Society. Volume 3. 1965.

PRITCHARD, D. *Soldering, Brazing & Welding – A Manual of Techniques*. Crowood Press, 2001.

RIBEIRO, H. O. Desenvolvimento de Ligas para Revestimentos por PTA Resistentes à Cavitação. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS NETO, N. F. Caracterização de Soldas em Aços API 5L Com Diferentes Arames Tubulares e Temperaturas de Pré-Aquecimento. 2003. 110 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SCHVARTZMAN, M.M.A. M; NEVES, C.F.C.; MATIAS, A.; FILHO, N.N.A.; LOURENÇO. L.I.; CÂNDIDO, L.C. “Avaliação Preliminar da Corrosão sob Tensão de um Aço Tipo ABNT 321, Em Ambientes de Reatores Nucleares”. In: VII Seminário Brasileiro do Aço Inoxidável, 2004, São Paulo.

SILVA, C.C. *et.al.* Aspectos Metalúrgicos de Revestimentos Dissimilares com a Superliga à Base de Níquel Inconel 625. *Soldag. Insp.* São Paulo, v. 17, p. 251-263, 2012.

TEIXEIRA, G.S. Análise da Influência dos Parâmetros de Soldagem sobre a Geometria do Cordão de Solda Depositado pelo Processo de Soldagem TIG – MAG em Tandem. 2011. 122p. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TOUÇA, J. M. R.; BASTIAN, F. L. Fratura de Materiais Compósitos Utilizados no Reparo de Dutos. *Petro & Química*, Ano XXVII, nº 253, p.99-102, outubro de 2003.

WAINER, E.; BRANDI, S.; MELLO, F. D. H. *SOLDAGEM: Processos e Metalurgia*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1992.