

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DE REVESTIMENTO DE AÇO INOXIDÁVEL NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITE

Nascimento, C. C. F., carmemfn@ifma.edu.br¹
Vilarinho, L. O., vilarinho@mecanica.ufu.br²
Martins, W. P., waldemir@ifma.edu.br¹
Meneses, V. A., alves_de_meneses@yahoo.com.br¹
Rodrigues, J. R. P., jrobert@ibest.com.br¹
Rodrigues, J. R. P., jroberto@fem.unicamp.br³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. Av. Getúlio Vargas, nº 04 - Monte Castelo - São Luís-MA - CEP 65030-005.

²Universidade Federal de Uberlândia. Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia – MG, CEP: 38400-902.

³Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses - Centro Cidade: São Luis Estado: MA CEP: 65.085-580.

Resumo: ambientes severos de operação, encontrados na Indústria, criam grandes desafios no desenvolvimento de materiais resistentes à degradação. A corrosão por pite é um tipo de degradação em meio líquido que pode ser determinada pela quebra localizada da camada passiva pela ação de espécies agressivas presentes no meio, das quais o mais significativo é o íon cloreto (Cl⁻). A degradação destes componentes geralmente tem início na superfície dos componentes e têm seus efeitos acelerados dependendo do meio em que estão em contato. Com o objetivo de evitar a fabricação de componentes maciços, a soldagem de revestimentos, deposição de uma camada de um material mais nobre sobre um substrato menos nobre, é uma excelente alternativa quando se deseja conferir à superfície características específicas que não são intrínsecas ao metal de base. Os aços inoxidáveis tem se destacado como um dos metais de adição mais utilizados na resistência ao pite, uma vez que esses materiais, apresentam um potencial de pite em meio aquoso elevado associado a uma maior relação custo/benefício e maior vida útil dos componentes a serem revestidos. Com este propósito, este trabalho tem como objetivo estudar o efeito da adição de um aço inoxidável depositado em um material de base de aço comum usando processo MIG com acabamento superficial de refusão usando o processo TIG sem adição de material, verificando o efeito deste acabamento na resistência à corrosão por pite aplicado para revestimento. O procedimento experimental envolve a soldagem com tocha MIG e refusão com tocha TIG. Como o processo de refusão melhora o acabamento superficial, espera-se que a superfície do revestimento refundida aumente a resistência à corrosão por pite.

Palavras-chave: Corrosão, Revestimento, Soldagem, Refusão Superficial

1. INTRODUÇÃO

Na indústria são encontrados grandes desafios na descoberta e inovação de novos materiais que suportem ambientes agressivos resistentes ao desgaste. Dentre os mecanismos de degradação comumente observados, a corrosão em meio aquoso é uma das formas de desgaste mais agressiva tendo início na superfície dos componentes e peças em plena atividade industrial, levando à paradas constantes para sua substituição, bem como pelos custos de recuperação dos mesmos, acarretando um custo adicional para a empresa (Jasolda, 2005).

A soldagem de revestimento tem sido uma técnica largamente difundida para recuperação de componentes, equipamentos e peças que não justifique sua troca por peças maciças em um intervalo de tempo pequeno. Esta técnica consiste na deposição de uma camada de material mais nobre sobre um substrato menos nobre, sendo uma excelente alternativa quando se deseja conferir à superfície características específicas que não são intrínsecas ao metal de base.

Segundo Bond (2008), diversas técnicas têm sido utilizadas para a proteção superficial, como a utilização de pintura, imersão a quente (galvanização), aspersão térmica (metalização), cladização (chapas revestidas), eletrodeposição (Cu, Ni), por difusão (cementação e deposição em fase gasosa), redução química (niquelação) e soldagem (*surfacing*). Dentre estes processos, a soldagem de revestimento usando ligas com características superiores ao metal de base têm contribuído para um aumento da resistência à corrosão e sua versatilidade permite aplicações em campos sem

comprometimento das características do cordão de solda. Dentre os processos de soldagem, os mais comumente utilizados para revestimentos são: chama oxiacetilênica, TIG (tungsten inert gas), MIG/MAG (metal inert gas), arco submerso, laser e plasma por arco transferido (PTA).

Marya (2002) verificou que dentre esses processos, o TIG tem sido bastante utilizado para soldagem de revestimento utilizando aço inoxidável na indústria aeroespacial, nuclear e em trabalhos de reparação devido a facilidade de controlar as variáveis do processo levando a um bom aspecto do cordão de solda e devido à necessidade de se utilizar baixas velocidades de soldagem que influenciam diretamente na resistência à corrosão dos produtos revestidos. O mesmo comportamento foi observado por Augusto (2007), analisando o comportamento de resistência à corrosão em elevadas temperaturas para revestimento de tubulações de aço inoxidável, onde para menores valores de velocidades de deposição, independente da camada de amateigamento, houve um aumento na resistência à corrosão.

Embora o processo TIG tenha vantagens de apresentar cordões de solda de alta qualidade, sua baixa taxa de deposição impede de ser aplicado em locais que requer uma alta produtividade devido aos altos custos produzidos pela aplicação do processo. No entanto, para aplicações de revestimentos resistentes ao desgaste associado a alta taxa de deposição, o MIG tem sido usado com posterior acabamento superficial, aumentando a resistência ao desgaste do revestimento. Segundo Procopiak (2008), uma refusão superficial usando TIG aplicado ao revestimento MIG melhora as ondulações superficiais do cordão de solda, melhorando o desempenho da resistência ao desgaste.

Segundo Diniz et al. (2003), a resistência à corrosão por pite tem sido correlacionada com as condições morfológicas da superfície, ou seja, um acabamento superficial liso contribui para diminuir o potencial de iniciação de pites. Dessa forma, após um processo de soldagem usando revestimento, seu potencial de passividade dependerá da rugosidade superficial que é um conjunto de irregularidades de pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam o acabamento superficial. Segundo Anselmo (2006), a corrosão por pite é muito comum em água do mar, onde a alta concentração de cloretos predomina, sendo a mais difícil de controlar uma vez que a maioria dos metais dentre eles, o aço inoxidável, está submetido a este tipo de desgaste.

Alguns testes são usados para avaliar a corrosão por pite. Dentre eles, as curvas de polarização potenciodinâmicas cíclicas avaliam a perda de passivação, analisando o potencial de corrosão por pite sobre a superfície do aço. De acordo com estas técnicas é possível avaliar o desempenho em relação à corrosão por pite de um determinado aço em uma aplicação específica.

O uso de revestimentos com aço inoxidável permite que peças, componentes e equipamentos fabricados de materiais menos nobres, possam ser recuperados nos locais afetados pelos pites, aumentando a vida útil em serviço. Desta forma, materiais utilizados na fabricação de componentes de bombas que operam em ambientes marítimos, dutos que transportam petróleo, plataformas marítimas, indústria petroquímica, dentre outros, são exemplos de estruturas susceptíveis à formação de pites que podem ser recuperados com revestimento de aço inoxidável usando técnicas de soldagem MIG e TIG.

Diante do exposto, este trabalho pretende fazer um levantamento bibliográfico das técnicas de soldagem, TIG e MIG aplicadas à revestimento usando aço inoxidável e verificar, baseado em estudos já realizados, o efeito da técnica de refusão com TIG na corrosão por pite de estruturas em contato com água do mar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aços Inoxidáveis Resistentes à Corrosão

Os aços inoxidáveis são ligas Fe-Cr ou Fe-Cr-Ni, podendo conter também elementos como C, N, Mo, Nb, Ti conhecidos como materiais resistentes à corrosão, pois seus elevados teores de cromo, superiores a 11 % forma uma película superficial aderente, não porosa e auto-regenerativa, chamada película passiva que protege o material contra a ação de agentes agressores, dando a estes materiais uma ampla faixa de atuação no segmento industrial, uma vez que sua degradação é mais difícil de ocorrer. Segundo sua microestrutura são classificados em: aços inoxidáveis austeníticos, aços inoxidáveis ferríticos e aços inoxidáveis martensíticos. Existem outras variantes deste grupo, dentre eles, os aços inoxidáveis duplex (que possuem 50% de ferrita e 50% de austenita) e os aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação (Magnabosco, 2001).

Os aços inoxidáveis apresentam um comportamento à corrosão diferente dos aços carbono pela presença da **camada passiva**. Esta camada é **formada por óxidos hidratados de Cr e Fe** e apresenta-se de forma contínua, insolúvel e não-porosa, formando uma barreira entre o metal e o meio e, conseqüentemente, evitando sua corrosão. Se, por alguma razão, a camada protetora for interrompida, esta se restabelece rapidamente (repassivação), sendo chamada, muitas vezes, camada protetora auto-selante. É importante destacar que a repassivação só ocorre em meio oxidante (aerado) e garantida a ausência de espécies agressivas como cloretos. De fato, a passivação dos aços inoxidáveis ocorre em condições específicas e depende de vários fatores: composição química do aço, condições de sua superfície e natureza do meio.

Os aços inoxidáveis ferríticos, também chamados magnéticos são ligas Fe-Cr predominantemente ferrítica em qualquer temperatura até sua fusão. Têm entre 12 e 30% de Cr e um baixo teor de carbono. Isto melhora a resistência à corrosão e à oxidação, inclusive em altas temperaturas, mas em parte sacrifica outras propriedades, como a resistência ao impacto. Têm menor ductilidade e tenacidade quando comparado aos aços inoxidáveis austeníticos, além de apresentar transição de fratura dúctil-frágil. São classificados da série AISI 400, sendo que o mais utilizado dos

ferríticos é o 430, que contém 16 a 18 % de cromo e um máximo de 0,12 % de carbono. Um dos maiores problemas deste aço é a perda de ductilidade nas regiões soldadas, que normalmente são frágeis e de menor resistência à corrosão. O elevado crescimento de grão, a formação parcial de martensita e a precipitação de carbonídeos de cromo são as principais causas geradoras deste problema. Para minimizar estes inconvenientes são adicionados titânio e/ou nióbio como estabilizadores do carbono (Oiyé, 2003). Os tipos 409, 430 Ti e 430 Nb são muito utilizados, principalmente em silenciadores de escapamentos de automóveis.

Segundo Serna-Giraldo (2006), a principal vantagem destes aços é a resistência à corrosão sob tensão em meios contendo cloreto, corrosão atmosférica e a oxidação a um custo baixo.

As ligas dos aços inoxidáveis austeníticos variam entre 16 e 26% de cromo, 6 a 22% de níquel e 0,03 a 0,025% de carbono no máximo. Não são magnéticos e apresentam, à temperatura ambiente, um baixo limite de escoamento, um limite de resistência elevado e grande ductilidade. São, entre os aços inoxidáveis, os de melhor soldabilidade e resistência geral à corrosão, porém é muito comum a ocorrência de corrosão intergranular devido à precipitação do carboneto de cromo nestas regiões. A presença do níquel também deixa seu custo mais elevado que o de aços ferríticos convencionais. É aplicado na indústria química, alimentícia e refino de petróleo (Foroni, 2006). São classificados na série AISI 200, ligas estabilizadas ao manganês e/ou nitrogênio, ou AISI 300, ligas estabilizadas ao níquel.

Segundo Girão (2008), elementos de liga como molibdênio, cobre, silício, alumínio, titânio e nióbio podem ser adicionados para melhorar a resistência à corrosão e à oxidação. A presença do molibdênio, no entanto, gera uma camada passiva mais resistente e casos como o aço inoxidável 304 que não resiste à corrosão por pite, os aços 316 e 317 são uma boa alternativa na resistência a esse tipo de corrosão. As zonas termicamente afetadas pela soldagem são afetadas pela corrosão intergranular, já que ocorre uma precipitação de carbonetos de cromo nos contornos de grãos, o que os torna sensibilizados nas temperaturas que variam de 450 e 850 °C. Dessa forma, foram desenvolvidos aços inox com teor de carbono extra baixo, dentre eles o 304L, 316L e 317L, com no máximo 0,03% de carbono e os aços estabilizados ao nióbio e titânio, como o caso do 321 e 347, melhorando a resistência ao pite e em meios ácidos redutores.

Os aços inoxidáveis martensíticos são ligas Fe-Cr-C que contêm entre 12 e 18 % de cromo e entre 0,1 e 0,5% de carbono e que podem ser austenitizadas se forem aquecidas a uma temperatura adequada. São magnéticos e endurecíveis por tratamento térmico, sendo usadas em geral, no estado temperado e revenido. O tipo 420 não apresenta bom comportamento frente à corrosão atmosférica à temperatura de 760 °C, pois é formado carboneto de cromo, e nesta condição o material não resiste a corrosão e não pode ser considerado como aço inoxidável, já que não tem um mínimo de 11 % de cromo em solução sólida, desta forma, este aço só é colocado em serviço após tratamento térmico de têmpera. A alta dureza e conseqüente resistência ao desgaste, levam à aplicações em cutelaria, discos de freio, equipamentos cirúrgicos, odontológicos e turbinas. Os do tipo 410 e 420 são bastante utilizados (Cavalcante, 2005).

Os aços inoxidáveis duplex são ligas Fe-Cr-Ni-Mo-N, podendo conter, ainda, adições de Cu e outros elementos. Apresentam uma estrutura austeno-ferrítica com aproximadamente 50% de cada fase. São caracterizados por uma elevada resistência mecânica e excelente resistência à corrosão, particularmente em ambientes contendo cloretos, nos quais os aços austeníticos têm um pior desempenho. Possuem propriedades mecânicas elevadas, além de boa usinabilidade e boa soldabilidade. Têm vantagens sobre aços austeníticos: possuem maior resistência à corrosão sob tensão e maior resistência à corrosão intergranular, além de propriedades mecânicas melhores (Rossitti, 2005). São usados em componentes de equipamentos expostos à água do mar, trocadores de calor, bombas e tubos nas indústrias químicas, petroquímicas, de papel e celulose.

Os aços inoxidáveis por precipitação são ligas cromo-níquel que podem ser endurecidas por tratamento de envelhecimento. Podem ser austeníticos, semi-austeníticos ou martensíticos, sendo que a classificação é feita de acordo com sua microestrutura na condição recozida. Para viabilizar a reação de envelhecimento, muitas vezes se utiliza o trabalho a frio, e a adição de elementos de liga como alumínio, titânio, nióbio e cobre. São capazes de desenvolver altos níveis de resistência mecânica pela formação de finos precipitados, com ductilidade e tenacidade superiores a outros aços com boa resistência à corrosão e oxidação. São aplicados na indústria aeronáutica e aeroespacial.

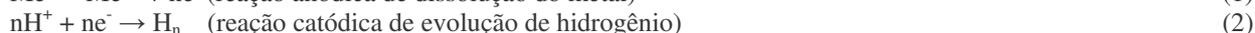
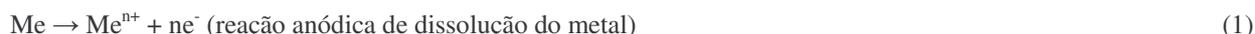
2.2. Corrosão

Segundo Javaherdashti (2000), a corrosão é uma interação físico-química, de natureza química ou eletroquímica, entre um metal e o meio, resultando em alterações das propriedades do metal, sendo gerada pela ação direta do agente agressivo sobre o metal.

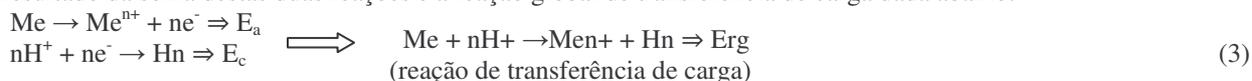
As reações de corrosão nos metais podem ocorrer em diferentes meios, sendo o meio aquoso, o mais freqüente de sua ocorrência e de natureza eletroquímica, podendo ocorrer de três etapas diferentes: processo anódico (passagem dos íons para solução), deslocamento de elétrons e íons (transferência dos elétrons das regiões anódicas para as catódicas pelo circuito metálico e uma difusão de ânions e cátions na solução) e processo catódico (recepção dos elétrons pelos íons ou moléculas da solução) (Gentil, 2005b).

Estudos realizados por Wolynech (2003), mostraram que técnicas eletroquímicas podem ser utilizadas na avaliação, controle e investigação da corrosão de metais sofrendo diferentes tipos de ataque corrosivo. Dessa forma, a taxa de corrosão pode ser medida através de técnica de polarização linear de um metal que sofreu corrosão generalizada ou na determinação da susceptibilidade de um metal à corrosão por pite pela determinação do potencial de pite por meio das curvas de polarização anódica.

Esta teoria envolve reações de transferência de carga que ocorrem na interface metal/solução como é mostrado na Eqs. (1), (2) e (3). Por exemplo, a corrosão de um metal em solução ácida como esquematizado na Fig. (1), envolve as seguintes reações parciais:



e o resultado da soma destas duas reações é a reação global de transferência de carga dada abaixo:



Onde: E_a , E_c e E_{rg} , são respectivamente os potenciais anódicos, catódicos e da reação global.

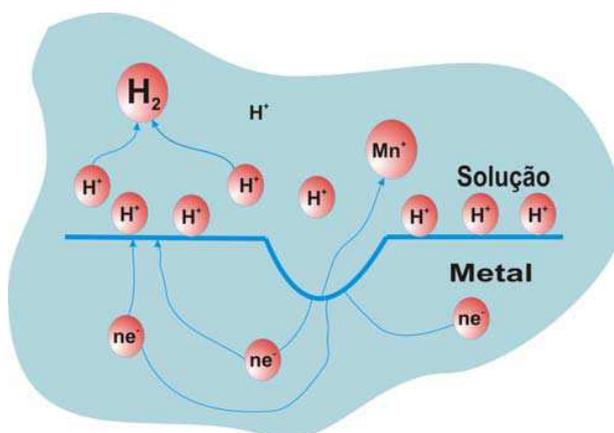


Figura 1 – Esquema do processo de corrosão eletroquímica (Jones, 1992). Adaptado de Ribeiro (2009).

O mecanismo de corrosão eletroquímica mostrado acima é caracterizado pela existência de dois processos distintos, anódico e catódico. A tendência à corrosão ou espontaneidade da reação global de transferência de carga é verificada pelas leis da termodinâmica, as quais relacionam a variação de energia livre (ΔG) com as variações de entalpia (ΔH), de entropia (ΔS) e da temperatura (T) do sistema metal/solução, através da Eq. (4) abaixo.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (4)$$

O processo acontece espontaneamente quando ocorre a diminuição de energia livre, ou seja, a variação de energia livre é negativa. No caso de uma célula eletrolítica, a energia livre é a energia elétrica que é produzida durante o processo de corrosão. A Tab. (1) abaixo mostra a espontaneidade ou não de uma reação.

Tabela 1 – Espontaneidade de uma reação Batista (2002). ¹ Potencial da reação.

ΔG	E^1	Espontaneidade
< 0	> 0	Reação espontânea
> 0	< 0	Reação não espontânea
$= 0$	$= 0$	Reação em equilíbrio

O estudo termodinâmico do comportamento de metais em um eletrólito é feito através de diagramas potencial-pH, também chamados de diagramas de Pourbaix. Estes diagramas indicam regiões onde o metal é imune a corrosão, onde sofre corrosão e onde sofre passivação (Batista, 2002). As Figs. (2a) e (2b) mostram diagramas de Pourbaix simplificado para o ferro e para o cromo em meio aquoso, respectivamente. A relação entre estes potenciais e a intensidade de corrente é expressa por uma curva chamada de curva de polarização.

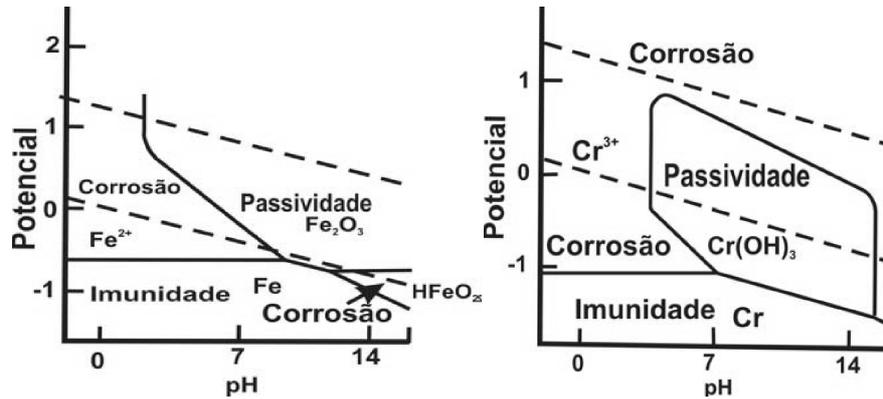


Figura – (2a) Diagrama esquemático de Pourbaix para o ferro e (2b) para o cromo (Scully, 1990).

2.3. Passivação

O fenômeno de passividade metálica se refere à perda de reatividade química que alguns metais e ligas apresentam em determinados meios. A passivação é um processo que depende do material e do meio, sendo resultado da formação de um filme de óxido ou hidróxido aderente e muito fino na superfície metálica da ordem de 2 a 3 nm que separa o metal do meio corrosivo (eletrólito), evitando a corrosão. (Callister, 2007; Gentil, 2003(a)). Os aços inoxidáveis exibem um filme composto de uma mistura de óxido (óxido de ferro, óxido de cromo, óxido de molibdênio) que pode ser formado instantaneamente se a superfície estiver limpa e seca. Este fenômeno pode ser explicado em termos de curvas do potencial de polarização em função do logaritmo da densidade de corrente. A Fig. (3) ilustra a curva de polarização para um metal que se passiva em um determinado meio.

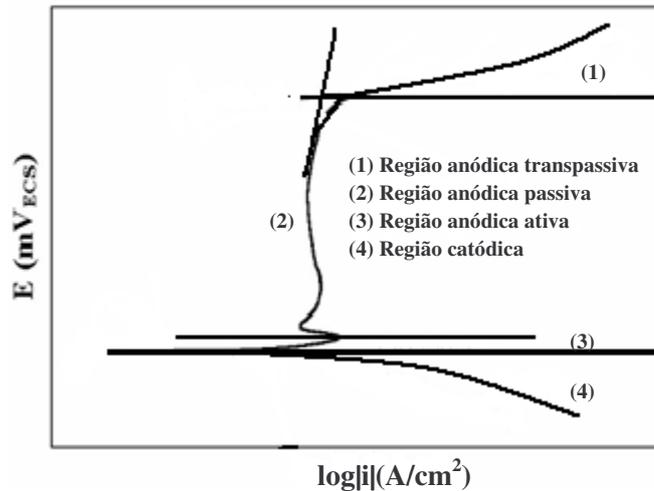


Figura 3 - Esquema de curva de polarização típica de aços inoxidáveis em meio ácido. E^* : potencial de corrosão. E_{pp} : potencial de início da passivação. E_{trans} : potencial de início da região anódica transpassiva (Magnabosco, 2001).

Para o caso dos aços inoxidáveis, quando a película passiva é rompida expondo o aço à solução, ocorre a formação de íons metálicos, principalmente a base de cromo, que tendem a formar compostos intermediários do tipo MOH^+ ; este tipo de composto é ‘capturado’ por moléculas de água e se liga ao filme em forma de gel, havendo liberação de íons H^+ , e isto marca a regeneração da película passiva. A Fig. (4) mostra este comportamento.

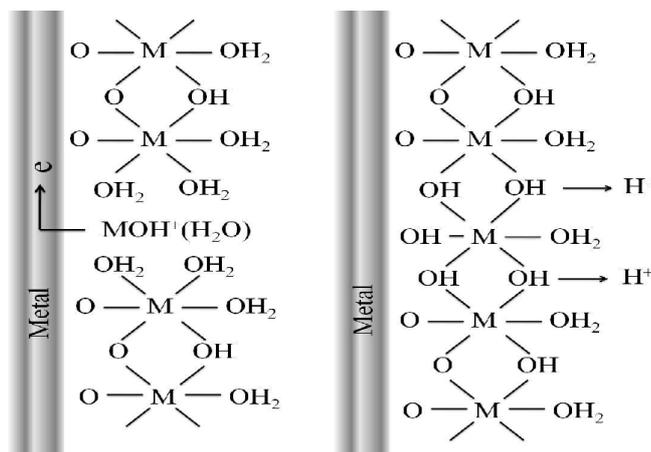


Figura 4 - Modelo de película passiva e repassivação. Adaptado de (Sedriks, 1986).

Nos aços inoxidáveis, as películas formadas predominantemente por Cr_2O_3 podem se dissolver na forma de íons cromato CrO_4^{2-} . Pode ainda ocorrer a reação de evolução do oxigênio. As Eqs. (5) e (6) ilustram este comportamento em meio ácido e básico, respectivamente.



2.4. Ensaios Eletroquímicos de Polarização para Corrosão

Existem muitas técnicas eletroquímicas que são utilizadas para avaliar quantitativamente a cinética de corrosão. Alguns tipos de corrosão podem ser estudados por técnicas eletroquímicas, dentre elas, a corrosão por pite, corrosão sob tensão, galvânica e fragilização por hidrogênio. Para a realização destes ensaios é necessário o uso de uma célula eletroquímica e um potenciostato. As normas ASTM G5 e G59 apresentam a metodologia para as medições eletroquímicas e obtenção das curvas de polarização.

Dentre os vários ensaios utilizados para avaliar o potencial de corrosão de um metal, o ensaio de polarização potenciodinâmica cíclica, é usada para avaliar a susceptibilidade à corrosão por pite em soluções contendo íons cloreto e/ou brometo (Magnabosco, 2005). A curva típica de polarização para um aço inox é mostrado na Fig. (5).

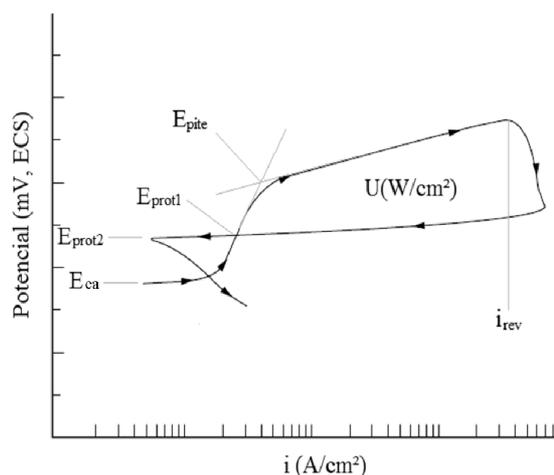


Figura 5 - Curva típica de polarização cíclica para um aço inoxidável. E_{ca} : potencial de corrosão. E_{pite} : potencial de pite. E_{prot1} e E_{prot2} : potenciais de proteção. i_{rev} : densidade de corrente de reversão. U : potência de repassivação "adaptado de" (Magnabosco, 2001).

2.5. Corrosão por Pite

A corrosão por pite é definida como uma forma de corrosão localizada que consiste na formação de cavidades na superfície de pequena extensão e razoável profundidade. Este tipo de corrosão é característica de materiais que formam a camada passiva e resulta da atuação da pilha ativa-passiva nos pontos nos quais esta camada passiva é rompida.

A corrosão por pite ocorre nos metais e ligas mais comuns. Em ambientes contendo concentrações apreciáveis de íons halogenetos (Cl^- , Br^-), onde a maioria dos materiais passiváveis tende a corroer em áreas específicas e formar pites profundos. Os pites podem ocorrer devido a heterogeneidades diversas que ocorrem no metal como composição química, textura do material, tensões internas, inclusões, dentre outras (Anselmo, 2006).

Segundo Nilsson (1992), a resistência à corrosão por pite nos aços inoxidáveis pode ser quantificada por um parâmetro empírico chamado PREN (“pitting resistance equivalent number”). A equação que descreve este parâmetro é apresentada na Eq. (7), onde k é um número entre 10 e 30, sendo que para os aços inoxidáveis dúplex utiliza-se $k = 16$.

$$\text{PREN} = (\% \text{Cr} + 3,3 \% \text{Mo} + k(\% \text{N})) \quad (7)$$

Armas (2008) e Oiyee (2003), verificaram que a passividade e a resistência química dos aços inoxidáveis, sobretudo na presença de cloretos é influenciada pela presença do molibdênio, no qual a passividade do cromo é pouco estável. Sendo assim, o molibdênio, associado ao cromo executa uma grande ação na estabilidade do filme de passivação na presença de cloretos, aumentando a resistência à corrosão por pite.

Segundo Magnabosco (2001), a presença do nitrogênio associado ao molibdênio aumenta a resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis em meios contendo cloreto e reduz o índice de precipitação de carbonetos de cromo, diminuindo assim a susceptibilidade de sensitização.

2.6. Influência da Refusão no Revestimento de Aço Inoxidável na Corrosão por Pite

Conjuntos soldados podem apresentar todas as formas clássicas de corrosão, mas são particularmente susceptíveis às que são afetadas pela variação na microestrutura e composição. Especificamente, corrosão galvânica, por pite, corrosão sob tensão, intergranular e trincamento induzido por hidrogênio, devem ser consideradas ao se projetar estruturas soldadas.

Técnicas de revestimento usando processo de soldagem, tem contribuído para aumentar seu desempenho operacional, no qual um revestimento constituído de uma material mais nobre é depositado em um metal de base (substrato), visando aumentar sua durabilidade e resistência a um meio mais agressivo. O revestimento do metal nobre é usado como barreira sobre o metal mais reativo (ASM Handbook, 1989). A resistência à corrosão dos revestimentos soldados com aço inoxidável depende de muitos fatores, dentre eles a sensitização que pode ser gerada e o acabamento superficial do revestimento, são itens importantes que devem ser considerados para um bom desempenho da resistência à corrosão. Alguns fatores podem afetar a corrosão dos revestimentos soldados com aço inoxidável, dentre eles, a composição química do metal de base e do metal de adição, condições metalúrgicas do metal de base antes da soldagem (histórico térmico anterior e histórico do trabalho mecânico sofrido pelo mesmo), processo de soldagem, tipo de atmosfera protetora, energia de soldagem, dentre outros.

Para se ter um bom desempenho na resistência à corrosão dos revestimentos soldados, a escolha do aço inoxidável usado como metal de adição e o tipo de processo de soldagem utilizado são itens de relevância importância, uma vez que o metal de adição deverá ter uma diluição mínima no metal de base, mantendo suas características. Deve-se levar em consideração que a diluição é função do aporte térmico e poderá ser alterada de acordo com o procedimento adotado. As variáveis do processo de soldagem que mais afetam a diluição são: o uso de corrente contínua polaridade direta proporciona menor penetração e conseqüentemente menor diluição que polaridade inversa, o eletrodo de menor diâmetro detém menor corrente, logo menor diluição, nos processos de eletrodos consumíveis um maior comprimento do eletrodo resulta em menor diluição, os cordões mais superpostos tendem a reduzir a diluição, uma baixa velocidade de soldagem determina uma baixa quantidade de metal fundido com menor diluição, a adição extra de metal de adição pode reduzir a diluição, que pode ser em forma de pó, arame, fitas ou fluxos, os processos de soldagem aplicados aos revestimentos apresentam níveis diferentes de diluição.

Os aços inoxidáveis austeníticos ligados ao molibdênio tem sido utilizado como revestimento para equipamentos na indústria de petróleo devido suas características de excelente resistência à corrosão por pite. Cleiton (2005), usou o aço austenítico AWS E 309MoL-16 para revestir uma torre de destilação de petróleo, avaliando o efeito da energia de soldagem de (4, 6 e 8 KJ/cm) sobre a perda da passividade empregando a técnica EPR-DL (Double Loop Electrochemical Potentionkinetic Reactivation) em solução saturada de KCl como ponte salina, usando o processo de eletrodo revestido. Ficou comprovado que quanto maior for a energia de soldagem, maior será sua influência na perda da passividade, deixando o material susceptível à corrosão por pite.

Estudos realizados por Silva et al.(2004) com revestimento usando aço inoxidável ferrítico AISI 444 concluíram que o aumento na energia de soldagem intensifica os processos corrosivos quando submetido a temperaturas na ordem de 300 a 400 °C em meio contendo petróleo pesado, o que foi associado à precipitação de carbonetos e/ou carbonitretos. Processo de soldagem TIG tem sido usado em aplicação industrial para manutenção em pites isolados, uma vez que sua baixa taxa de deposição e alto custo do processo, torna-se viável quando se deseja qualidade do revestimento e não produtividade. Deepashri (2006), verificou em seus estudos que este processo usando nitrogênio no gás de proteção, aumentou a resistência à corrosão por pite do aço inoxidável austenítico.

Oliveira (2008), verificou o efeito do nitrogênio na solda de revestimento com metal de adição 904L investigando a resistência a corrosão por pite para o revestimento, comparado-o com o obtido sem a adição de nitrogênio no gás de proteção. Foi verificado que adição de nitrogênio com teores acima de 19% no gás de arraste (Ar) à solda de revestimento promoveu uma resistência ao pite, melhorando a ductilidade e a resistência do 904 L.

Gavalos et al (2008), verificaram que a resistência à corrosão por pite tem sido também correlacionada com as condições morfológicas da superfície, onde um acabamento superficial liso contribui para diminuir o potencial de iniciação de pites. O procedimento de acabamento superficial fazendo uma refusão com TIG (TIG Dressing) tem como objetivo eliminar ou reduzir os defeitos superficiais inerentes ao processo de soldagem. Esta técnica promove um refinamento na microestrutura aumentando a resistência à fadiga. Os benefícios alcançados por esta técnica estão relacionados à redução da concentração de tensão na soldagem, um bom acabamento superficial do cordão de solda e com um controle dos parâmetros de soldagem pode-se ter uma boa resistência à corrosão, uma vez que através da refusão, dado sem o emprego de metal de adição, utilizando equipamento padrão para soldagem, são removidas as descontinuidades superficiais.

Zhang (2002), usando aço inoxidável SAF 2205 (0.03%Cr; 1.0%Si; 2.0% Mn; 0.03% P; 0.02% S; 22% Cr; 5.5% Ni; 3.2% Mo; 0.18% N), avaliou o efeito da soldagem com tocha dupla usando plasma pulsado com refusão de TIG na microestrutura e corrosão por pite, onde os efeitos foram avaliados com variação da corrente na soldagem TIG e distância entre as tochas. Foi observado que com o controle da microestrutura, houve um aumento na resistência à corrosão por pite. Na Fig. (6) abaixo verifica-se que a taxa de corrosão aumenta com a distância entre as tochas e com a diminuição da corrente de soldagem TIG, embora o autor admita a necessidade de um refinamento melhor nos parâmetros de soldagem.

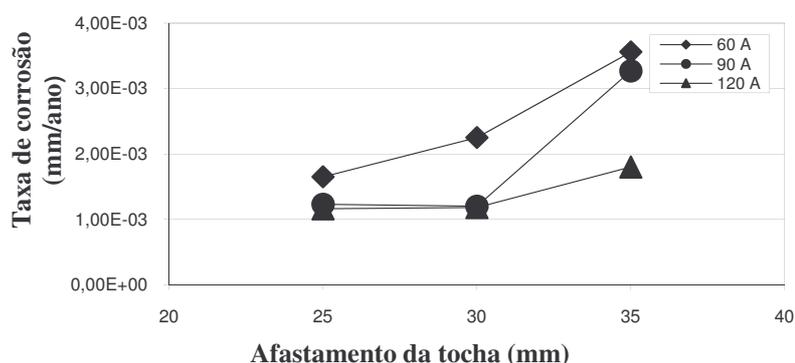


Figura 6 – Taxa de corrosão para refusão TIG em função de diferentes parâmetros (Zhang, 2002).

2.7. Considerações Finais

De acordo com estudos já realizados, observou-se que a técnica de refusão usando processo de soldagem TIG provoca uma mudança na microestrutura e um melhor acabamento superficial do cordão de solda, o que influencia na resistência à corrosão do conjunto soldado. Um controle dos parâmetros de soldagem TIG pode aumentar a resistência à corrosão por pite em meio contendo cloreto. Estes parâmetros são selecionados de acordo com o metal de base e a liga de aço inoxidável escolhida para revestir que dependerá da aplicação específica. Dentre várias técnicas de refusão, os efeitos na resistência à corrosão por pite usando tocha dupla mostrou que variando os parâmetros da refusão com TIG se tem uma mudança na taxa de corrosão do aço inoxidável, embora o autor admita que o refino desta técnica ainda seja necessário. O potencial desta técnica revela a viabilidade de melhorar a resistência à corrosão por pite em manutenções de vários segmentos industriais.

3. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), à Universidade Federal do Maranhão (UFMA), à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA).

4. REFERÊNCIAS

- Anselmo, N., 2006, "Corrosion behavior of supermartensitic stainless steel in aerated and CO₂-saturated synthetic seawater", *Materials Science and Engineering A*, v.428, p. 73-79.
- Armas, A. I., 2008, "Duplex Stainless Steels: Brief History and Some Recent Alloys". *Recent Patents on Mechanical Engineering*, n.1, p.51-57.
- ASM. "Corrosion". In *Metals Handbook*, vol.13, 9a. ed., ASM International, Metals Park, USA. 1978-1989.
- Augusto, C., Ana, S.C.M., 2007, "Proteção de Tubulações exposta ao Coque", VII CONEMI.

- Batista, S. R. F., 2002, “ Resistência à Corrosão de Aços Inoxidáveis Dúplex Fundidos, em Ambientes Contendo Íons Cloretos e CO₂ “. Tese de Doutorado, UFSCar, São Paulo.
- Bond, D., 2008, “ Avaliação de Revestimentos Soldados Processados com Materiais Atomizados”. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná.
- Callister, W. D., 2007, “ Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução”. 7.ed N.Y: John & Sons, 693p.
- Cavalcante, C., A., 2005, "Forúm Português tutelaria Artesanal" – Apostila, Portugal, maio.
- Cleiton, C.S.; "Estudo da Sensitização Causada pelo Ciclo Térmico de Soldagem no Aço Inoxidável Superferrítico AISI 444" - 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Outubro 2005.
- Deepashri, D. N.; Raja. V. S., 2006; "Corrosion Science" - 48, 2317, 2006.
- Diniz, A.E.; Marcondes, F.C.; Coppini, N.L., 2003, “ Tecnologia da Usinagem dos Metais”, 4ª ed., Editora Artliber, São Paulo, 248 p.
- Foroni, F. D., 2006, "Uso do Aço AISI 409 para Fabricação de Pás para Ventiladores", 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- Gavalos, M. T.; Martins, M.; Diniz, A. E.; Mei, P. R., 2008, "Influência da Rugosidade Superficial na Resistência à Corrosão por Pite em Peças Torneadas de Aço Inoxidável Superaustenítico"- artigo apresentado em congresso.
- Gentil, V., 2003 (a), “Corrosão”. 4ª Edição. Rio de Janeiro, RJ: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Gentil, V., 2005 (b), “Corrosão”. 4ª edição, Rio de Janeiro.
- Girão, I. F., 2008, “Caracterização da resistência a corrosão por pite do aço uns S31803 após soldagem”. 50 f. Dissertação de Mestrado, Centro de Desenvolvimento de Materiais Metálicos CDMatM Departamento De Engenharia Mecânica Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, São Paulo.
- Jasolda, C.L, 2005, "Apostila de Treinamento TIG", SENAI, Recife, Brasil.
- Javaherdashti, R., 2000, “How corrosion affects industry and life”. Anti-corrosion methods and materials, vol. 47, nº 1, p. 30-34.
- Jones, D.A., “Principles and prevention of corrosion” 2a ed., Prentice Hall, NJ, USA, 1996.
- Magnabosco, R., 2001, “ Influência da microestrutura no comportamento eletroquímico do aço inoxidável UNS 31803 (SAF 2205)”. São Paulo. 181 p. Tese de doutorado em engenharia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, na especialidade Materiais.
- Magnabosco, R.; Falleiros, A. N., 2005, “ Pit Morphology and its Relation to Microstructure of 850°C Aged Duplex Stainless Steel”. Corrosion, v. 6, p.130-136.
- Marya, M., 2002, “Theoretical and Experimental Assessment of Chloride Effects in the A-TIG Welding of Magnesium”, IIW Document, Copenhagen, Denmark, 13 p.
- Nilsson, J.O., 1992, “ Super Duplex Stainless Steel. Materials Science and Technology, v.8, p. 685-700.
- Oiye, L. E., 2003. “ Microdureza de fase sigma em aço inoxidável dúplex SAF 2205”. Projeto de Iniciação Científica – Fundação Educacional Inaciana (FEI), São Bernardo do Campo.
- Oliveira, A. M. C.; Paredes, S. C.; Vaz, A. P. M., 2008, “Estudo para Proteção de Corrosões no Aço Inoxidável Superaustenítico 904 L”. 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Novembro.
- Prociak, L.A. J.; Lactec, N.C.S., 2008, “Efeito dos Processos de Modificação Superficial na Resistência à Erosão de Cavitação”.
- Ribeiro, J. R. S., 2009, “Estudo da Influência da Erosão e Erosão-corrosão no Revestimento por Soldagem de Carcaças de Bombas Centrífugas em meio a Transporte de Licor Cáustico”. Projeto de Tese, Universidade Federal de Uberlândia, Outubro.
- Rossitti, S.M., 2005, "Efeito do Nióbio na Microestrutura e nas Propriedades Mecânicas do Aço Inoxidável Super duplex Fundido SEW 410 W. Nr. 1.4517", Tese de Doutorado, *Universidade de São Paulo, Interunidade EESC-IFSC-IQSC*, p. 49-53.
- Scully, J. C. The fundamentals of corrosion. 3ª ed., Pergamon Press, 1990.
- Sedriks, A.J., 1986, “Effects of alloy composition and microstructure on the passivity of stainless steels”. Corrosion n.7 v.42. p.376-89.
- Serna, G. C. A., 2002, “Resistência à Corrosão Intergranular UNS S43000: avaliação of molybdenum in stainless steel pitting corrosion”. Journal of Electroanalytical Chemistry. v. 537, n. 1-2, p. 183-187.
- Silva, C. C.; Machado, P. S. E.; Farias, I. P. “Estudo da Sensitização Causada pelo Ciclo Térmico de Soldagem no Aço Inoxidável Superferrítico AISI 444” - 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2004.
- Wolyne, S., 2003, ‘ Técnicas eletroquímicas em corrosão’ EDUSP, São Paulo. Zhang, S.; Dayou, P.; Ingegerd, A., 2002, “ Application of Dual Torch Technique in Duplex Stainless Steel Welding. Simtech Technical Report (PT/02/008/JT)”. Joining Technology Group.
- Zhang, S.; Dayou, P.; Ingegerd, A. “Application of Dual Torch Technique in Duplex Stainless Steel Welding”. SIMTech Technical Report (PT/02/008/JT). Joining Technology Group. 2002.

5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no trabalho.

STUDY OF THE INFLUENCE OF SURFACE FINISH COATING OF STAINLESS STEEL IN THE CORROSION RESISTANCE PITTING

Nascimento, C. C. F., carmemfn@ifma.edu.br¹

Vilarinho, L. O., vilarinho@mecanica.ufu.br²

Oliveira, A. M., amaia@ifma.edu.br¹

Martins, W. P., waldemir@ifma.edu.br¹

Meneses, V. A., alves_de_meneses@yahoo.com.br¹

Rodrigues, J. R. P., jrobert@ibest.com.br¹

Rodrigues, J. R. P., jroberto@fem.unicamp.br³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. Av. Getúlio Vargas, nº 04 - Monte Castelo - São Luís-MA - CEP 65030-005.

²Universidade Federal de Uberlândia. Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia – MG, CEP: 38400-902.

³Universidade Federal do Maranhão. Av. dos Portugueses - Centro Cidade: São Luis Estado: MA CEP: 65.085-580.

ABSTRACT

Harsh operating environments found in industry, create major challenges in the development of materials resistant to degradation. The pitting corrosion is a type of degradation in liquid medium which can be determined by the breakdown of the passive layer located by the action of aggressive species in the environment, of which the most significant is the chloride ion (Cl⁻). The degradation of these components is usually started on the surface of the components and their effects have accelerated depending on the environment in which they are in contact. In order to avoid the mass production of components, the welding coating, deposition of a layer of a material more noble about a less noble substrate, is a great alternative when you wish to check the surface characteristics that are not intrinsic to the metal base. The stainless steel has emerged as one of the metals added more used resistance to pitting, since these materials have a potential de pitting in aqueous high associated with greater cost-effectiveness and service life of components to be coated. For this purpose, this paper aims to study the effect of adding a stainless steel material deposited on a base of common steel using MIG process with coating refusion using the TIG process without the addition of material, checking the effect of this finish resistance to pitting corrosion coating applied. The experimental procedure involves the welding torch and MIG torch TIG remelting using appropriate shielding gases for each welding process. The experimental procedure involves the welding torch and MIG torch TIG remelting. As the reflow process improves the surface finish, it is expected that the surface of the remelted coating increases the resistance to pitting corrosion.

Keywords: *Corrosion, Coating, Welding, Surface Refusion*

