

CARACTERIZAÇÃO MACRO E MICROESTRUTURAL DO AÇO AISI 4130 AMANTEIGADO COM INCONEL 625 PELO PROCESSO MIG

Roneles de Santana Silva, selenor_jp@hotmail.com
Antônio Marcos Vila Nova, a.marcos.20@gmail.com
Daniel Milanês Beltrão, dmbeltrao@gmail.com
José Hilton Ferreira da Silva, jhiltonf@ct.ufpb.br

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Mecânica, Cidade Universitária, João Pessoa, PB, Brasil, CEP. 58051-900

Resumo: O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento macro e microestrutural das regiões de soldas de amanteigamento do aço AISI 4130. O processo de soldagem MIG é usado no amanteigamento com o arame eletrodo Inconel 625 (AWS ERNiCrMo-3) e a mistura 75%Ar+25%He como gás de proteção. Como variáveis de influência foram analisados dois modos de corrente: convencional e pulsada. As variáveis de respostas são: diluição do metal de base, extensão da zona termicamente afetada (ZTA), microestrutura e dureza das regiões da solda de amanteigamento. O parâmetro de controle foi a taxa de deposição dada pela relação entre a velocidade de alimentação do arame e a velocidade de soldagem. Os resultados mostraram que o modo de corrente convencional apresenta um arco mais instável, consequentemente foi observado a presença de respingos, já no modo de corrente pulsada, foi observado um arco estável, com ausência total de respingos. A análise microestrutural mostrou ainda que o amanteigamento realizado com corrente pulsada apresenta menores níveis de diluição em relação ao modo de corrente convencional mesmo com maiores níveis de energia de soldagem. Além disso, verificou-se que a interface do amanteigamento com o modo de corrente pulsado, promoveu maior controle das zonas parcialmente diluída (ZPD), minimizando a formação de zonas frágeis.

Palavras-chave: soldagem, liga de níquel, amanteigamento, microestrutura, microdureza.

1. INTRODUÇÃO

Os grandes avanços na exploração e produção de petróleo em ambientes subaquático têm exigido cada vez mais materiais, procedimentos e processos de soldagem que possam, de forma econômica e viável, suprir os requisitos de engenharia, segurança e meio ambiente, necessários para o funcionamento dos diversos componentes utilizados. Essas necessidades concretizaram-se com as descobertas de petróleo no pré-sal, onde as condições de exploração são superiores a sete mil metros de profundidades e são cada vez mais agressivas.

É comum na indústria de óleo e gás, o emprego de componentes forjados de alta espessura em aços de alta resistência, para fabricação de equipamentos submarinos, como árvores de natal, *manifolds* e *jumpers*, especialmente em campos de alta pressão e alta temperatura. Quando estão sobre condições de corrosão, corrosão sob tensão, estes componentes são geralmente revestidos internamente por soldagem com a liga de níquel Inconel 625 e recebem um tratamento térmico pós-soldagem, para atender os critérios de dureza recomendados pela norma NACE MR0175/ISO 15156 (Ferreira, 2014). Ainda segundo Ferreira (2014), nestes componentes deve ser evitado o tratamento térmico pós-soldagem (TTPS) para a solda de fechamento entre o forjado e a tubulação adjacente, geralmente de aço microligado (X65 ou X70), devido ao layout complexo de tubulações e possibilidade de distorções. Assim, são utilizados, portanto, procedimentos especiais de soldagem para esta solda de fechamento. É realizado previamente o amanteigamento dos forjados e tratamento térmico pós-soldagem em fábrica. O amanteigamento deve ter espessura de tal forma que mantenha a ZTA da solda de fechamento o suficientemente afastada do aço de baixa liga, assegurando aos critérios de dureza estabelecidos e evitando dessa forma que a junta não necessite de tratamento térmico adicional.

Apesar de ter vários anos de uso bem sucedidos, tal procedimento de juntas soldadas dissimilares em *manifolds*, apresentaram falhas na interface do amanteigamento do aço 8630M previamente amanteigado com Inconel 625 submetidas à proteção catódica. As falhas de forma catastrófica ocorreram no Mar do Norte e Golfo do México.

Diante desse problema investigações foram realizadas no Golfo do México, através de testes hidrostáticos, e verificou-se a presença de trincas circunferências nas interfaces do amanteigamento (Stroe, 2006; Milititsky *et al* 2010; Almeida, 2014).

Problemas semelhantes também foram verificados no Mar do Norte, onde as fissurações ocorreram próximo a linha de fusão (Gitos, 2008).

A linha de fusão do amanteigamento gerada nessas juntas dissimilares, frequentemente apontada como a região mais crítica e a grande quantidade de hidrogênio atômico adsorvido na superfície da junta, foram apontadas como a provável causa das falhas encontradas nesses tipos de juntas.

Foi observado que elevados níveis de diluição impostos pelo processo de soldagem podem, além de reduzir a resistência a corrosão pela incorporação de ferro proveniente do metal de base, promove a formação de microestruturas definidas como zonas parcialmente diluídas (ZPD's), fundamentalmente martensíticas, duras e frágeis sobre a linha de fusão.

As ZPD's, mesmo após TTAT, pela formação de martensita ou pela intensa precipitação de carbonetos, tornam assim componentes soldados susceptíveis a falhas em operação (Gitos, 2008; Oliveira, 2013). Estudo realizado por Omar (1998), sobre os efeitos dos parâmetros de soldagem na formação da ZPD em juntas dissimilares, conclui que todos os parâmetros de soldagem podem tanto aumentar como reduzir a extensão da ZPD.

Beaugrand *et al.* (2009a), ao estudando os efeitos dos parâmetros de soldagem em juntas dissimilares com liga de níquel, sugeriram a nomenclatura descrita abaixo com seis tipos de microestruturas encontradas na região da interface, mostrada de forma esquemática na Fig. 1.

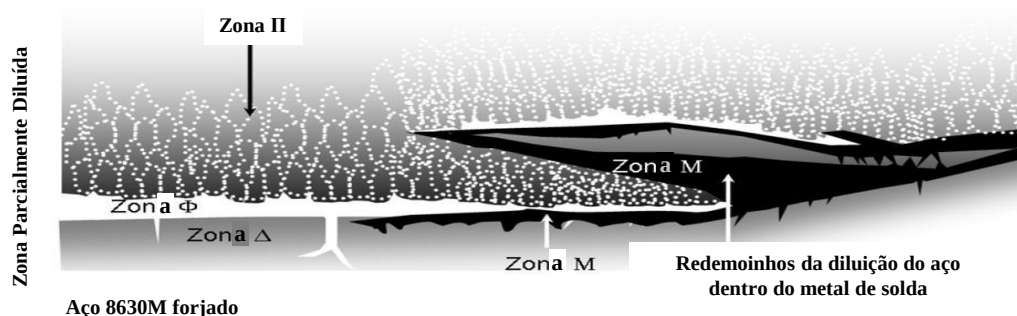


Figura 1. Esquema da distribuição da microestrutura em torno da interface do amanteigamento do aço baixa liga (Beaugrand *et al.* 2009a).

A imagem mostrada na Fig.1, está assim caracterizada:

- ✓ **Metal de base:** Aço de baixa liga (8630, 4130 ou F22). Microestrutura ferrítica típica.
- ✓ **Zona Δ:** zona descarbonetada na região de grãos grosseiros da ZTA do metal de base, com 'dedos' de metal de solda penetrando nos contornos de grão da austenita prévia.
- ✓ **Zona M:** constituição de ferro martensítico de estrutura TCC, não é contínua ao longo da interface sendo mais comum na região entre passes.
- ✓ **Zona Φ:** zona de solidificação planar, encontrada ao longo de toda a interface. Estrutura CFC, austenítica, com grande supersaturação de carbono em solução sólida. Apesar de ser chamada também de "featureless zone", por geralmente não apresentar precipitados ou contornos em micrografias, análises em microscopia eletrônica de transmissão (MET) revelaram grandes quantidades de carbetos. Seu tamanho é apenas dezenas de microns.
- ✓ **Zona π:** Região parcialmente misturada, de matriz austenítica com grande quantidade de precipitados interdendríticos de alto número atômico, ricos em Mo e Nb, podendo atingir centenas de microns.
- ✓ **Metal de solda:** composição correspondente à diluição global da solda.

Dessa forma é essencial a aplicação de processo de soldagem que envolva a escolha de procedimentos e técnicas de deposição que permitam conciliar taxa de deposição com produção de soldas e baixos níveis de diluição. Inserido neste contexto, o processo MIG, em particular o modo com corrente pulsada, apresenta vantagens comprovadas na aplicação de revestimentos e amanteigamento. Este comportamento decorre, com relação ao processo MIG com corrente convencional, do controle mais preciso sobre a distribuição de calor na junta, com energia de soldagem menor para mesmo efeito e qualidade da solda produzida.

Diante deste contexto, esse trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento de dois procedimentos de soldagem que utilizaram correntes pulsada e convencional sobre as características de juntas amanteigadas do aço AISI 4130 com o Inconel 625.

2. MATÉRIAS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Placas de aço AISI 4130 com dimensões 110 x 30 x 75 foram utilizadas como metal de base. O aço AISI 4130 é bastante utilizado no segmento de petróleo e gás, por atender aos requisitos de alta resistência mecânica exigidos nas aplicações.

A Tabela 1 apresenta a composição química do aço AISI 4130, conforme fornecido pelo fabricante.

Tabela 1. Composição química do metal de base

Aço	C	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	V
AISI 4130	0,30	0,26	0,53	0,011	0,89	0,17	0,07	0,01

Como metal de adição foi utilizado a liga de níquel Inconel 625, classificado como AWS ERNiCrMo-3. A Tabela 2 apresenta a composição química do metal de adição, de acordo com o fabricante do arame.

Tabela 2. Composição química do metal de adição AWS ERNiCrMo-3.

Fe	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb/Ta
0,13	0,02	0,05	0,01	0,003	0,001	0,3	0,01	3,59
Ti	Cr	Ni	Co	Mo	Ca	Pb	B	V
0,20	22,27	64,5	0,01	8,87	-	-	-	-

Como gás de proteção foi utilizado uma mistura de gases inertes (75% Ar / 25% He), com vazão de 20 l/min.

2.2. Tratamentos Térmicos

Para atender aos requisitos de propriedades para aplicação no setor de petróleo e gás, segundo a norma NACE MR0175, antes de realiza o procedimento de amanteigamento, o aço AISI 4130 foi submetido aos tratamentos térmicos de têmpera e revenido. As condições de realização dos tratamentos térmicos estão esquematizadas na Fig. 2.

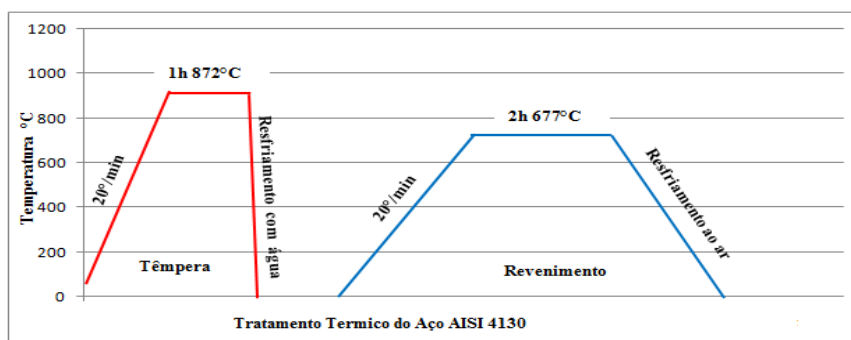


Figura 2. Condições de tratamento térmico do aço SAE 4130 de têmpera e revenimento.

2.3. Procedimentos para o Amanteigamento

Utilizou para execução do amanteigamento do aço AISI 4130 com o Inconel 625 uma célula de soldagem composta por uma fonte de energia microprocessada, multiprocessos e sinérgica, modelo DIGIplus A7; um sistema de aquisição de dados IMC SAP-4.0 e uma tartaruga para translado da tocha de soldagem. O sistema de aquisição de dados foi utilizado para monitoramento e controle das variáveis de soldagem (corrente de soldagem, tensão do arco, velocidade de alimentação do arame e vazão de gás de proteção). O sistema de aquisição de dados também foi usado para auxiliar no controle e ajuste das variáveis, principalmente quando foi definir os parâmetros para o modo pulsado. O amanteigamento foi realizado de forma mecanizada.

Uma série de ensaios preliminares foram realizados para definir os procedimentos de soldagem. Os parâmetros: velocidade de alimentação do arame (v_a), corrente de soldagem (I), tensão do arco (U), velocidade de soldagem (V_s) e a DBCP, foram ajustados para o melhor procedimento de soldagem que propiciasse os menores níveis de diluição possíveis e controle das Zonas Parcialmente Diluídas (ZPD's). Os parâmetros selecionadas e utilizados no processo do amanteigamento são apresentadas na Tabela 3.

Definidos os procedimentos de soldagem, foram realizadas as soldas de amanteigamento, como mostrado na Fig. 3 (b). As placas do aço AISI 4130 foram fixadas em um suporte conforme mostrado na Fig. 3. A quantidade de passes foi definida em razão da espessura mínima recomendada para o amanteigamento que é de 9,5 mm, após a usinagem com o menor custo possível. Para garantir mais uniformidades na obtenção dessa espessura, largura e comprimento, foram fixadas abas laterais e frontais nas placas de aço AISI 4130, como mostrado na Fig. 3(a). Depois de alguns pré-testes foram definidos que para o procedimento de soldagem com corrente pulsada seria necessário 4 camadas de cordões de

solda, sendo a primeira com 3 passes e as 3 camadas subseqüente com 2 passes cada uma. Já para o procedimento de soldagem com corrente convencional foram necessárias 3 camadas com 3 passes cada uma.

Tabela 3. Parâmetros de soldagem para os diferentes arames e gases de proteção

MIG convencional										
Arame	Im(A)	U(V)	Va(m/min)	Vs(mm/min)	DBCP(mm)	Es (kJ/mm)				
Inconel 625	183,9	32,2	6,5	164	12	2,16				
MIG pulsado										
Arame	Im(A)	U (V)	Va (m/min)	Vs (mm/min)	DBCP (mm)	I _p (A)	I _b (A)	T _p (ms)	T _b (ms)	Es (kJ/mm)
Inconel 625	187.7	36.4	6.5	164	17	300	131	3	5.1	2.49

Com o objetivo de reduzir a taxa de resfriamento, aplicou-se um preaquecimento na placa de no mínimo 240° C, e a temperatura de interpasse foi mantida no intervalo de 240°C à 280°C. Esse controle de temperatura foi realizado com um pirômetro ótico digital com fundo de escala de 1500°C.

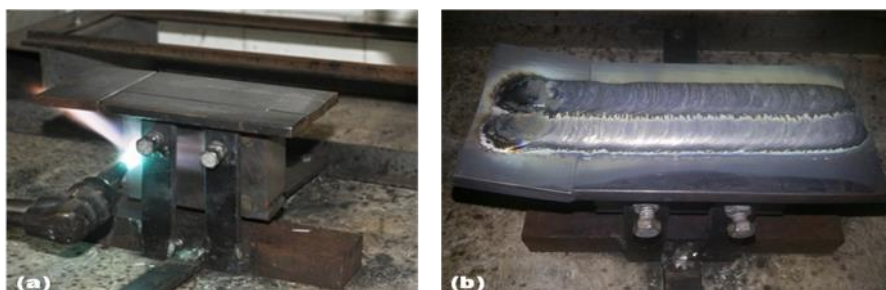


Figura 3. Etapas utilizadas na metodologia da pesquisa: a) preaquecimento entre 240°C a 280°C e b) procedimento de amanteigamento.

2.4. Microestrutura e Microdureza

A caracterização na interface da linha de fusão do amanteigamento foi analisada em ambas as condições. Utilizaram-se as técnicas de microscopia óptica (MO) e eletrônica de varredura (MEV), bem como o ensaio de microdureza Vickers. Os materiais que foram empregados nas análises foram retirados da seção transversal do amanteigamento. Após o corte das amostras, foram embutidos em resina acrílica e em seguida tratados metalograficamente. A revelação da microestrutura foi conseguida por meio de dois ataques. Inicialmente as amostras foram atacadas com nital a 2% por imersão durante 20s para revelação da microestrutura do aço AISI 4130 e depois um ataque eletrolítico com ácido crômico a 10%, para revelação do Inconel 625.

Na análise microestrutural foram empregados microscópio óptico Olympus Soft Imaging Solutions GmbH, e, microscópio eletrônico de varredura (MEV) VEGA3 TESCAN, neste último foi empregado o sinal de elétron secundário (SE). Na microdureza empregou-se o ensaio do tipo Vickers (HV), em torno da interface dissimilar, sendo executado em microdurômetro SHIMADZU HARDNESS TESTERS HMV-2 SERIES. Para as análises pontuais em regiões de interesses na interface dissimilar, foram realizadas impressões, com carga de 10g (HV 0,01) e tempo de 15s.

3. RESULTADOS

3.1. Oscilogramas de Corrente x Tempo

A Figura 4 mostra os oscilogramas de corrente x tempo para os dois procedimentos de soldagem. Os ajustes nos parâmetros de soldagem tiveram com objetivo definir níveis de estabilidade do arco compatíveis com a qualidade do metal de solda, além de propiciar o maior controle na interface das Zonas Parcialmente Diluídas (ZPD's). A Figura 4 (a) mostra um oscilograma característico do modo de transferência por corrente pulsada. Nesse procedimento, o arco teve um comportamento estável e os cordões de solda foram depositados livres de respingos. A Figura 4 (b) apresenta um oscilograma de corrente característico da transferência metálica globular/curto-circuito. Nesse procedimento, o arco elétrico comportou-se com um certo grau de estabilidade e foi observado a presença de respingos na solda.

3.2. Macrografias das Juntas Amanteigadas

Para a análise macrográfica da solda de amanteigamento em ambas as condições usadas, foram retiradas amostras em seções transversais da junta. A Figura 5 apresenta as macrografias das juntas amanteigadas. Observa-se na Figura 5 (a) que o procedimento de soldagem com corrente pulsada apresentou menores níveis de diluição e regiões mais homogêneas quando comparada ao modo convencional, Fig. 5 (b). O que confirma os resultados obtidos por Kelejin (2012), que verificou níveis de diluição menores ao utiliza a soldagem com MIG Pulsado. Além disso o mesmo autor, observou que as zonas parcialmente diluídas (ZPD's) ocorreram principalmente em soldas depositadas com maiores níveis de diluição.

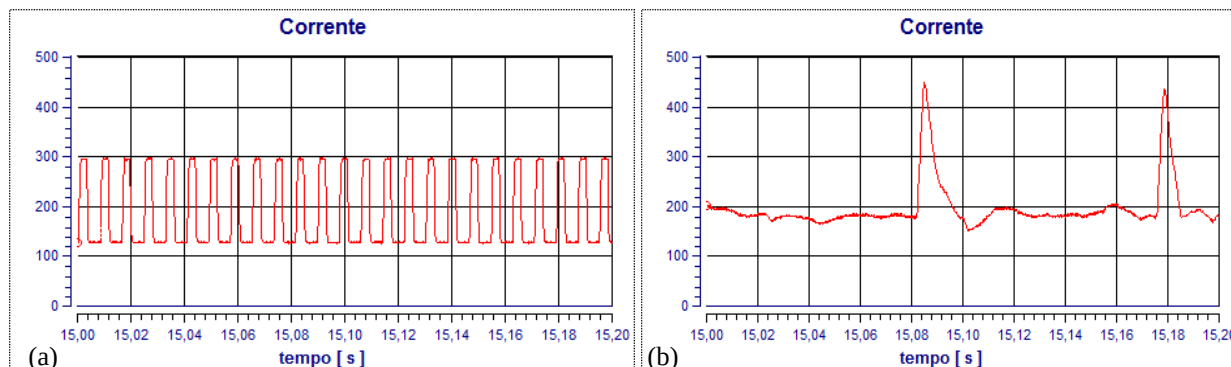


Figura 4. Oscilograma de corrente x tempo: a) processo MIG pulsado; b) MIG Convencional.

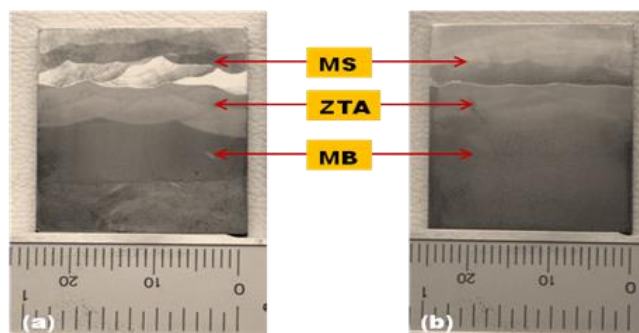


Figura 5. Macroestrutura da seção transversal da junta amanteigamento: a) MIG Convencional; b) MIG Pulsado.

3.3. Micrografias da Interface dissimilar do amanteigamento

A interface dissimilar do amanteigamento de aços ARBL com ligas de níquel é apontada como uma região crítica para nucleação e propagação de trincas por vários autores (Beaugrand *et al.*, 2009a; Beaugrand *et al.*, 2009b; Rowe *et al.*, 1999). Essa região está associada a formação de diversas zonas geradas por macrosegregações, que por apresentarem composição química intermediária ao aço de baixa liga e a liga de níquel são fortemente suscetíveis a formação de zonas frágeis. As Figuras 6 e 7 mostram as configurações microestruturais em torno da linha de fusão para as juntas amanteigadas com corrente pulsada e convencional, respectivamente. A nomenclatura seguiu a notação adotada por Beaugrand *et al.* (2009a).

Nas Figuras 6 (a) e 7 (a) pode ser observado a formação de uma estreita região de granulação grosseira bem próximo a interface do metal de solda, formadas por grãos de ferrita. Essa região está presente em ambas as interfaces dos amanteigamentos com Inconel 625 tanto para o modo pulsado, quanto para o convencional. No entanto quando compara-se as Fig. 6 (a) e Fig. 7 (a), é verificado que a granulação é mais grosseira no modo de corrente convencional. Isso pode está relacionado a um processo de decarbonetização associado a sucessivos ciclos térmicos no processo do amanteigamento. Deve-se observa também que o tamanho de grãos encontrados nessas regiões decarbonetizadas, pode esta associado a ausência de carbonetos que dificultem o crescimento do grão pós recristalização (Almeida, 2013).

A substituição de uma microestrutura com granulometria grosseira por uma refinada, em aços de médio carbono, é indicada por Dieter (1988), como uma forma de elevar a tenacidade do material. Além disso o autor ressalta que quanto maior for o tamanho de grãos, maiores serão as bandas de deslizamentos e maiores as concentrações de tensão. Quanto maior é a concentrações de tensão, microtrincas são induzidas nos contornos de grão causando a fratura por clivagem do material.

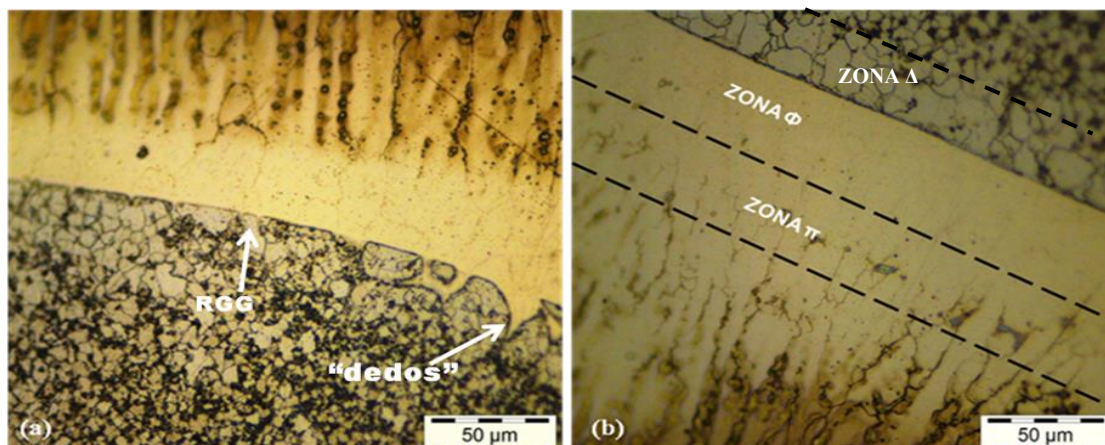


Figura 6. Microscopia óptica, da interface dissimilar do aço AISI 4130 amanteigado com Inconel 625 no modo MIG Pulsado: a) RGG e "dedos"; b) planar (Zona Φ) e dendrita celular.

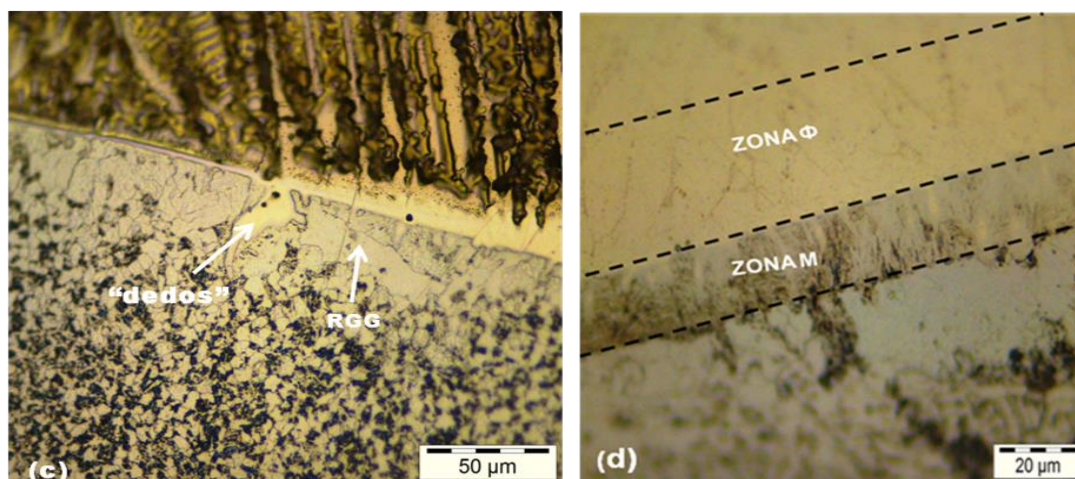


Figura 7. Microscopia óptica, da interface dissimilar aço AISI 4130 amanteigado com Inconel 625 com MIG Convencional a) RGG e "dedos"; b) planar (Zona Φ) e dendrita celular e Zona M.

A análise das Figuras 6 (b) e 7 (b) mostra a evolução microestrutural ao longo da interface dissimilar do amanteigamento que é a mesma proposta por Beauprand *et al.* (2009b). Começando do metal de base com a Zona Δ, passando pelas Zonas M, quando existem, em seguida pelas Zonas Φ, até chegar a Zona π. Como pode ser observado na Fig. 7 (b), no procedimento de soldagem com corrente convencional, a formação da Zona M, foi bastante evidenciada com mais frequência ao longo de toda interface. Já no procedimento de soldagem com corrente pulsada, Fig. 6 (b), a formação da Zona M foi bastante discreta, sendo apenas verificadas em regiões próximas de "redemoinhos". A Zona M está constituída de ferro martensítico de estrutura TCC com formato em conchas aprisionadas dentro do metal de solda a poucas dezenas de *microns* da linha de fusão, dentro da zona parcialmente diluída e sua formação não é contínua ao longo da interface. Acredita-se que a ocorrência de martensita nas Zonas M se deva à elevadas quantidade de elementos de ligas presente no metal de adição que, por difusão, migram juntamente com o carbono aumentando a temperabilidade. Beauprand *et al.* (2009a), ressalta a dificuldade de eliminar tanto Zona Φ quanto a Zona M simultaneamente em juntas dissimilares com processo de soldagem a arco elétrico. Mas segundo suas observações, a Zona Φ pode ser eliminada empregando uma baixa energia de soldagem, já a Zona M poderia ser eliminada com o uso de elevadas energias de soldagem. Tais observações foram evidenciadas, nesse trabalho, onde foi observado que ao utilizar o modo de corrente pulsada com níveis de energia mais elevados, propiciaram a quase ausência de formação da Zona M.

É também possível observar nas Fig. 6 (b) e Fig. 7 (b), que para ambas as condições, a presença de uma região planar (Zona Φ), tanto para as amostras realizadas com MIG Pulsado quanto para as com MIG Convencional. Embora tenha ocorrido uma variação na espessura dessa zona, de modo geral foi possível observar que sua espessura está na faixa de poucas dezenas de *microns*, semelhante ao que foi observado por vários autores (Almeida, 2013; Alexandrov *et al.* 2012; Dodge, 2014). Estes autores citam ainda que esta região tem uma composição intermediária ao metal de base (AISI 4130) e o metal de adição (Inconel 625).

A Figura (8) mostra o perfil de composição feito com EDS onde pode ser observada a variação da composição ao longo da interface da junta amanteigada. Como pode ser observado, da esquerda para direita há uma queda no teor de Fe acompanhada por um aumento do teor de Ni, mas não na mesma proporção. Na medida em que a queda do teor de Fe é mais acentuada têm-se crescimentos maiores no teores de Ni e Cr, até que o Ni passa a ser o solvente ao invés do Fe.

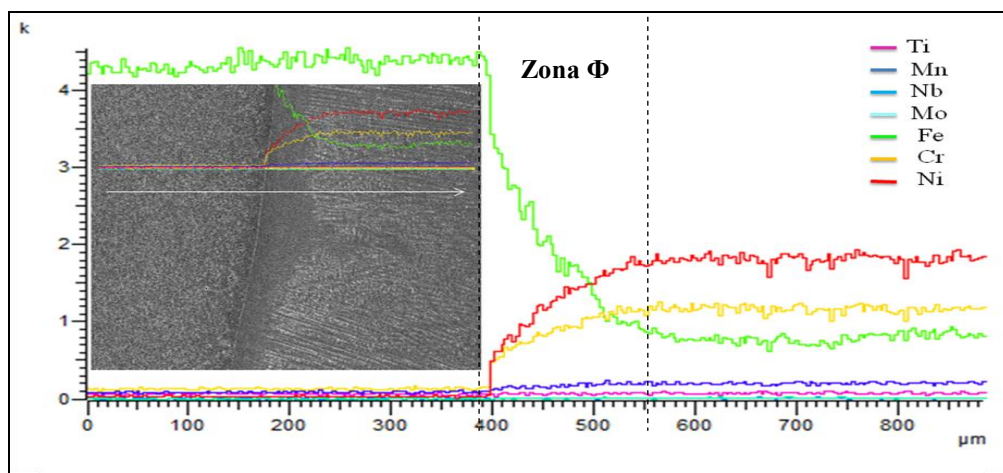


Figura 8. Perfil de composição química ao longo da interface do amanteigamento com ênfase a Zona Φ.

Ainda é possível observar na Fig. 6 (b), a Zona II após a Zona Φ, contendo inúmeras partículas precipitadas, exibindo uma distribuição interdendrítica. É formada de microestrutura do metal de solda composta de dendritas de forma colunar e celular. Embora seu aparecimento não seja contínuo, como é o caso da zona Φ, na zona II há uma mudança no modo de solidificação planar (Zona Φ) para celular. Esta mudança no modo de solidificação é atribuída ao super-resfriamento constitucional, gerando uma desestabilidade na frente de solidificação. Alexandrov *et al.* (2012) associam a presença da forma celular a mudança promovida pelo processo de solidificação da forma planar (zona Φ) para celular e a existência de precipitados finos, presentes nos contornos da zona celular, e que estes estão associados ao Nb e Mo. Dodge (2014) observou uma presença mais significativa dos elementos Fe e Ni na zona II.

Para as observações realizadas por Beaugrand *et al.* (2009a) em juntas dissimilares submarinas sob proteção catódica, a zona Φ e a zona M são particularmente influentes em termos de mecanismos de fatura. Sua microestrutura e composição química são influenciadas pelo processo de soldagem e por realizar ou não um TTAT nessa junta. Assim, o desempenho pode ser modificado por mudanças sutis em qualquer um dos parâmetros.

3.4. Microdureza na Interface do amanteigamento

As Figuras 9 e 10 mostram os perfis de microdureza para as juntas amanteigadas com corrente pulsada e convencional, respectivamente. São observadas nas Figuras as impressões de microdurezas (HV 0,01-10g) em cada zona formada na interface do amanteigamento. Regiões endurecidas foram encontradas para ambas as condições, no entanto, os maiores níveis de dureza são verificados em regiões denominadas de "redemoinhos". Segundo Dogde (2014), o processo de soldagem promove os chamados "redemoinhos" que são descontinuidades na Zona Parcialmente Diluída (ZPD) e correspondem a uma característica comum na interface dissimilar. Sua formação, provavelmente, é consequência da mistura incompleta da poça de fusão. Os maiores níveis de dureza nessas regiões estão de acordo com as observações feitas por esse autor, que ao verificar tais regiões afirma que são ricas em martensita.

Já para Beaugrand *et al.* (2009a), a penetração do metal de solda no metal de base é responsável pela formação da martensita nessas regiões. Assim, minimizar a formação de "redemoinhos" e a sua martensita associada deve melhorar o desempenho das juntas e pelo menos reduzir o risco de trincas. Isso foi verificado ao utilizar o modo de corrente pulsada, que embora não tenha completamente eliminados, mas minimizou sua formação ao longo da interface do amanteigamento.

Ainda é possível observar nas Fig. 9 (a) e Fig. 10 (a), que os níveis de dureza na zona Φ estão mais elevados quanto se aproxima da linha de fusão. Esse comportamento foi associado à migração de Carbono da ZTA para a essa Zona provocando o empobrecimento deste elemento na Zona Δ (RGG) adjacente à interface. Esses resultados também foram confirmados por Alexandrov *et al.* (2013), ao atribuírem a elevada dureza na zona Φ próxima à linha de fusão à intensa saturação de C, sem necessariamente associar a ocorrência de precipitado nessa região.

Nas Figuras 9 (b) e 10 (b) podem ser observadas as penetrações do metal de solda no metal de base que são denominadas de "dedos". Tais estruturas foram encontradas nas interfaces de todos os amanteigamentos com o aço AISI 4130 e Inconel 625 para ambos os modos pulsado e convencional. No entanto verifica-se que no modo de corrente convencional, a quantidade dessas formações é bem mais expressivas. De acordo com Oliveira (2013), a formação de "dedos" ocorre preferencialmente ao longo dos contornos de grãos da austenita prévia do metal de base, além de ter uma

composição química semelhante a região de crescimento planar (Zona Φ) adjacente aos mesmos. Acredita-se que tal formação se dá pela liquação dos contornos de grão da região do aço próxima da ZTA, que juntamente com as correntes convectivas existentes na poça de fusão permite a penetração do metal fundido nesses contornos fundidos.

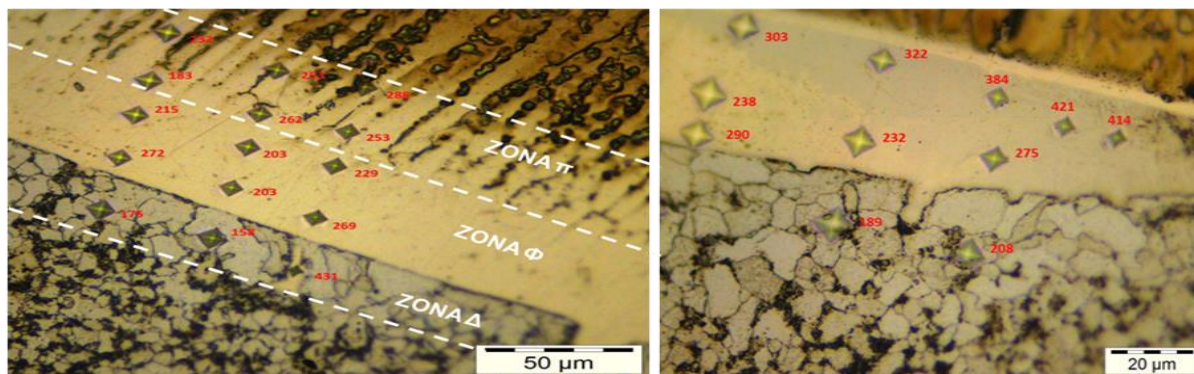


Figura 9. Microdureza encontrada na interface do amanteigamento com MIG Pulsado: a) Zona π , Zona Φ e Zona Δ e b) "redemoinhos".

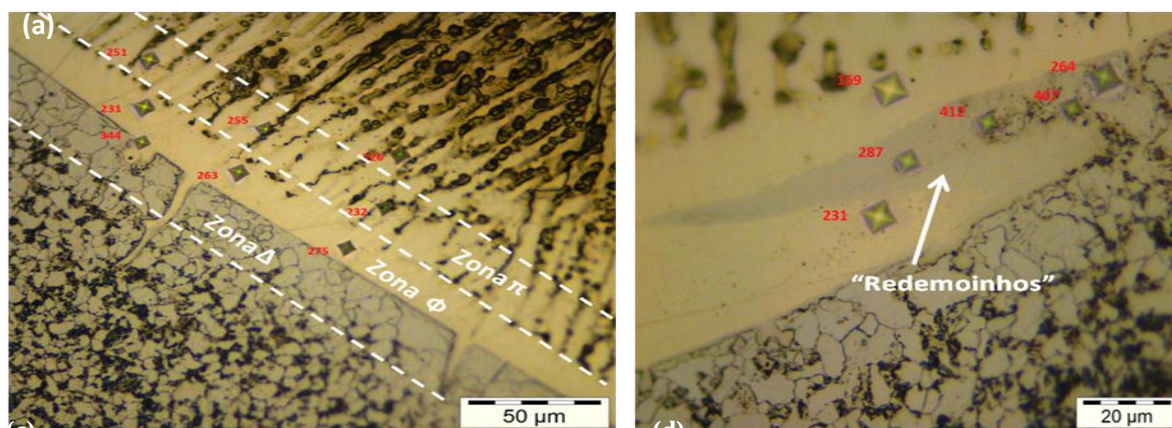


Figura 10. Microdureza na interface do amanteigamento MIG Convencional: a) Zona π , Zona Φ e Zona Δ e b) "redemoinhos".

4. CONCLUSÕES

O objetivo proposto, a metodologia adota e os resultados apresentados e discutidos neste trabalho permitem concluir que:

- A interface do amanteigamento realizado com modo de corrente pulsado teve menores níveis de diluição e maior controle das zonas parcialmente diluídas (ZPD's).
- A formação de zonas frágeis do tipo "redemoinhos" e Zona M, na interface do amanteigamento foi minimizadas com modo de corrente pulsada.
- A formação da Zona M foi mais evidenciada na interface do amanteigamento com o modo de corrente convencional.
- A formação da Zona Φ foi verificada para ambos os modos de corrente pulsada e convencional.
- O procedimento para o amanteigamento com MIG Pulsado mostrou-se mais adequado a esse tipo de aplicação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq) pelo financiamento da pesquisa e a UFPB pela imprescindível infraestrutura que permitiu o desenvolvimento do trabalho.

6. REFERÊNCIAS

Alexandrov, B. T., Lippold, J. C.; Sowards, J. W.; Hope, A. T.; Saltzmann, D. R., 2012, Fusion boundary microstructure evolution associated with embrittlement of Ni-base alloy overlays applied to carbon steel, Welding in the World, v. 57, n. 1, p. 39–53.

- Almeida, J. G., 2014, Influência do hidrogênio na tenacidade quase estática de uma junta soldada dissimilar constituída de aços ARBL e metal de adição BS NA21 (Inconel 625): 191p. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB.
- Beaugrand, V.C.M., Smith, L.S. & Gittos, M.F., 2009a, Hydrogen embrittlement of 8630M/625 subsea dissimilar joints: factors that influence the performance, *Proceedings of the 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* (OMAE 2009), Honolulu, Hawaii, USA.
- Beaugrand, V. C. M.; Smith, L. S.; Gittos, M. F., 2009b, Subsea Dissimilar Joints: Failure Mechanisms And Opportunities For Mitigation. In: NACE Corrosion, Atlanta - Georgia - USA. NACE. Paper N° 09305.
- Gittos, M. F., 2008, "Resistance of Dissimilar Joints Between Steel and Nickel Alloys Hydrogen – Assisted Cracking". In : *Corrosion*. Nace, New Orleans, Paper 0809F.
- Dieter, G.E., 1988, Mechanical Metallurgy .SI Metric Ed. Singapore: Macgraw- Hill Book 1988.p.
- Dodge, M. F., 2014, The Effect of Heat Treatment on the Embrittlement of Dissimilar Welded Joints: 216p. Thesis (PhD) - Department of Engineering, University of Leicester, Leicester.
- Ferreira, D.C.F., 2014, Relatório Técnico Interno PETROBRAS – RT CENPES/PDEP/TMEC.
- Kejelin, N. Z., 2012, Soldagem de Revestimento De Aços Comuns C-Mn Com Superliga A Base De Níquel Inconel 625. (Doutorado). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Milititsky, M., Gittos, M., Smith, S. E., & Marques, V., 2010, Assessment of Dissimilar Metal Interfaces for Sub-Sea Application under Cathodic Protection. *ASM International, Member/Customer Service Center Materials Park United States*.
- NACE, 2005, Petroleum and natural gas industries – Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production Part 1: General principles for selection of cracking-resistant materials: NACE MRO175/ISO 15156-1:2001/Cor. I:2005(E). U.S.A.
- Oliveira, G. L. G., 2013, Soldagem dissimilar dos aços AISI 8630M e ASTM A182 F22 para aplicações subaquáticas. 2013. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) Centro de Tecnologia, UFCE, Fortaleza-CE.
- OMAR, A.A., 1998, Effects of Welding Parameters on Hard Zone Formation at Dissimilar Metal Welds. *Welding Journal*. 87 -N° 2, p.86-93.
- Rowe, M. D.; Nelson, T. W.; Lippold, J. C., 1999, Hydrogen-induced cracking along the fusion boundary of dissimilar metal welds. *WELDING JOURNAL*, NEW YORK-, v. 78, p. 31-s.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

MACRO AND MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF STEEL AISI 4130 BUTTERING WITH WIRE AWS ERNiCrMo-3 BY PROCESS GMAW

Roneles de Santana Silva, selenor_jp@hotmail.com
Antônio Marcos Vila Nova, a.marcos.20@gmail.com
Daniel Milanês Beltrão, dmbeltrao@gmail.com
José Hilton Ferreira da Silva, jhiltonf@ct.ufpb.br

Federal University of Paraíba, Department of Mechanical Engineering, Cidade Universitária, João Pessoa, PB, Brazil, CEP. 58051-900

Abstract. In this work a study was carried out to analyze how influences of the welding parameters on the behavior of the mechanical and microstructural properties in the buttery interface of AISI 4130 steel with Inconel 625 electrode wire (AWS ERNiCrMo-3) by the GMAW process using a 75% Ar + 25% He as shielding gas mixture. Two welding procedure were used, one with pulsed current and the other with conventional current. Initially a preheating was carried out to minimize an influence of the temperature on the changes of the base metal microstructures and then the buttery of the AISI 4130 steel. The results showed that the conventional current mode has a more unstable arc, consequently the presence of spatter was observed, already in pulsed current mode, a stable arc was observed, with total absence of spatter. The microstructural analysis also showed that buttery with pulsed chain has lower levels of dilution than conventional current mode even with higher levels of welding energy. In addition it was verified that the buttery interface with the pulsed current mode, it promoted greater control of partially diluted zones, minimizing the formation of fragile zones.

Key-words: welding, buttery, microstructure, hardness.

Copyright - Authors are solely responsible for the content of the printed material included in their work.