

COMPORTAMENTO MECÂNICO-METALÚRGICO DO AÇO AISI 4130 AMANTEIGADO COM O INCONEL 725

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: Este trabalho tem como objetivo analisar comportamento mecânico metalúrgico das diferentes regiões de soldas de amanteigamento do aço AISI 4130 com o Inconel 725. O processo de soldagem MIG é usado na deposição do amanteigamento. Os materiais utilizados foram o aço AISI 4130 como metal de base, o arame eletrodo AWS ERNiCrMo-15 (Inconel 725) como metal de adição e a mistura 75%Ar + 25%He como de gás de proteção. Como variáveis de influência são analisadas dois modos de corrente: convencional e pulsada. As variáveis de respostas são: diluição do metal de solda, 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 a soldagem realizada com corrente pulsada gerou um cordão de solda com maior largura e menor diluição do que a corrente convencional; os resultados mostram, ainda, que as diferentes regiões do aço AISI 4130 com o amanteigamento apresentam comportamento mecânico e metalúrgico melhor quando soldado com corrente pulsada.

Palavras-chave: Soldagem MIG, Amanteigamento, Microestrutura, Dureza

1. INTRODUÇÃO

Após a descoberta de reservas de petróleo nas camadas ultra profundas no Brasil deu-se início a vários desafios para a prospecção do petróleo devido aos vários fatores tais como: a enorme carga gerada pelo peso das tubulações e ambiente marinho agressivo trazendo adversidades para durabilidade e instalação de equipamentos. Dentre os desafios enfrentados está a necessidade de desenvolver aços com maior resistência mecânica, que possibilitem a sua aplicação com menores espessuras e que possam resistir ao meio marítimo agressivo, com contaminantes como H₂S, CH₄, CO₂, etc. Materiais estes com boa resistência a corrosão.

Como modelos para adquirir a resistência à corrosão e o bom desempenho estrutural, são utilizados revestimentos anticorrosivos que são depositados por meio de processos de soldagem. Na indústria do petróleo e gás, a soldagem de materiais dissimilares é empregada por meio do revestimento das superfícies internas, em áreas de passagens e vedações, para minimizar os efeitos agressivos dos fluidos produzidos, e nas áreas externas, comumente, usa-se a proteção catódica com o intuito de prevenir à corrosão marítima (Cantarin, 2011).

O revestimento de estruturas subaquáticas de extração de petróleo é muito praticado para aumentar a resistência aos ambientes agressivos; outras vezes o revestimento é utilizado como amanteigamento, atenuando a transição entre juntas de metais dissimilares, devido às diferenças entre os coeficientes de expansão térmica e pontos de fusão (Linnert, 1995).

Há uma série de cenários onde a união de dois metais diferentes oferece vantagens de engenharia. Dentro das indústrias petroquímicas e de geração de energia, as soldas dissimilares aproveitam as propriedades mecânicas únicas de ambas as ligas, teoricamente resultando em um componente econômico que não compromete a vida útil. A aplicação de soldas dissimilares nestas indústrias é extensa e varia da sobreposição simples do aço de liga de Cr-Mo com cargas Ni-baseadas na tubulação de paredes d'água em caldeiras de poder à soldadura de aços inoxidáveis austeníticos em plantas de poder melhorar a fluência de alta temperatura e a resistência à fadiga térmica (Dupont, 2007).

A seleção do processo de soldagem para revestimento é tão importante quanto à seleção da liga. Os requerimentos de desempenho em serviço não são ditados somente pela seleção da liga, mas sofrem forte influência de um processo de soldagem bem selecionado. Outros fatores técnicos envolvem a seleção do processo, incluindo, mas também não limitando, as propriedades e a qualidade do revestimento, as características físicas da peça, as propriedades metalúrgicas do metal de base, a forma e composição da liga de revestimento e a habilidade do soldador. Ultimamente, predominam as condições econômicas e o custo como fatores determinantes na seleção final do processo.

Entre 2005 e 2007 alguns acidentes ocorreram no Golfo do México, onde uniões soldadas constituídas de flanges fabricados com o aço AISI 8630M, previamente amanteigadas com a liga Ni-Cr Inconel 625, e dutos de aço de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL), falharam durante testes hidrostáticos, em tubulações já instaladas, na forma de trincas circunferências.

A partir dessas falhas ocorridas que acarretaram em acidentes, foram iniciadas várias pesquisas em diversos países do mundo, estudos vem se desenvolvendo com a finalidade de se identificar as possíveis causas destas falhas, e uma vertente desses estudos seria a possibilidade da troca do Inconel 625 por outro metal de adição para o amanteigamento.

A resistência à corrosão da liga 725 juntamente com a sua alta resistência torná-lo um candidato para aplicações na indústria marítima, química, aeroespacial, petróleo e indústrias de gás. A liga 725 apresenta uma resistência à corrosão equivalente à da liga 625. Assim, proporciona resistência adequada à corrosão na maioria dos ambientes marítimos. Além da sua resistência, a liga 725 também oferece excelente resistência à fratura. Antes do advento da liga 725, os Designers marinhos foram limitados à liga 718 uma liga de alta resistência. No entanto, a liga 718 oferece apenas resistência moderada à corrosão marinha e sua tenacidade à fratura é menor do que o desejado para condições "subseguras". A liga 725 oferece uma melhoria significativa na resistência à corrosão e tenacidade à fratura. O que o torna a liga 725 adequada para estas aplicações (Shoemaker, 2005).

Segundo os requisitos estabelecidos em normas vigentes da área petrolífera, como a NACE MR0175, diversas propriedades mecânicas devem ser atendidas. Muito embora, a análise microestrutural não seja uma exigência imprescindível das normas vigentes da área, a influência microestrutural é expressiva nas propriedades mecânicas da junta soldada, tornando sua caracterização necessária para o entendimento das transformações e do comportamento da junta soldada (Cantarin, 2011).

Os problemas levantados e o fato da pouca utilização do Inconel 725 para amanteigamento de aços para indústria de petróleo e gás, além das poucas pesquisas existentes, quando comparado ao Inconel 625; motivaram o desenvolvimento deste trabalho, que visa estudar a interface da junta amanteigada do aço SAE 4130 com o Inconel 725, considerando este conjunto como uma boa combinação para a utilização em instalações para a exploração de petróleo e gás em águas submarinas. Entender os fenômenos ocorridos na microestrutura da região da solda, com diferentes procedimentos de soldagem é de grande relevância para aprofundar estudos em uma área de grande desenvolvimento na soldagem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Metal de base

Para a confecção dos corpos de provas foram utilizadas placas do aço AISI 4130, temperado e revenido, para atender aos requisitos de propriedades mecânicas estabelecidos pela norma NACE MR0175, antes do processo de amanteigamento. As condições de realização dos tratamentos térmicos estão esquematizadas na Fig. 1.

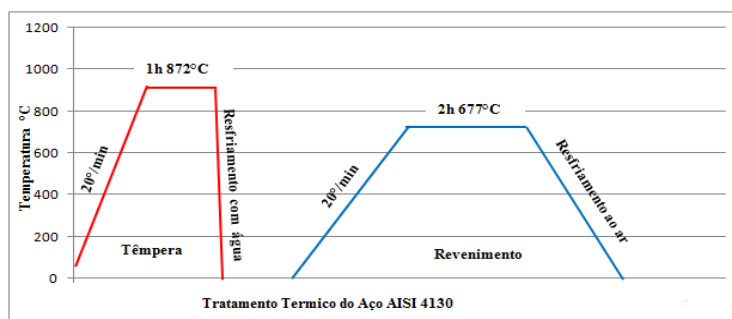


Figura 1. Condições de tratamento térmico do aço SAE 4130 de Tempera e Revenimento.

A composição química do aço AISI 4130 está apresentada na Tab. (1). Este aço é caracterizado por suas propriedades de alta resistência mecânica, boa temperabilidade e custos relativamente baixos tendo, por isso, grande aplicação no setor petrolífero. O aço tem uma boa dureza e boa soldabilidade. É uma liga versátil com boa resistência de corrosão atmosférica. Adequado a aplicações severas de fadiga, abrasão, impacto e tensões a altas temperaturas.

Tabela 1. Composição química do aço AISI 4130.

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

2.2. Metal de Adição

Foi utilizado como metal de adição o arame AWS ERNiCrMo-15 (Inconel 725), com diâmetro de 1,2 mm. Trata-se de um material resistente a corrosão sendo, por isso, utilizado no setor petrolífero como metal de revestimento e união

por solda de componentes e estruturas. Outra aplicação importante é seu uso como metal de amanteigamento em juntas compostas de flanges e componentes de sistemas mecânicos dissimilares. Sua composição química, em termos de percentagem em peso, e suas principais propriedades mecânica encontram-se apresentadas, respectivamente, nas Tab. (2) e Tab. (3).

Tabela 2. Composição química do arame AWS ERNiCrMo-15 (% massa), segundo o fabricante.

Ni	Cr	Mo	Fe	Nb	Ti	Al	C	N	Mn	S
58,3	20,8	8,0	7,4	3,5	1,52	0,21	0,006	0,008	0,07	0,0004

Tabela 3. Principais propriedades mecânicas do metal de adição AWS ERNiCrMo-15, segundo o fabricante.

Propriedades mecânicas e físicas do INCONEL 725	
Densidade	8.31 g/cm ³ (0.300 lb/in. ³)
Intervalo de fusão	1271 - 1343 °C (2320–2449 °F)
Módulo de Elasticidade	204 GPa (29.6 × 10 ⁶ psi) a 20 °C (70 °F)
Módulo de cisalhamento	78 GPa (11.3 × 10 ⁶ psi) a 20 °C (70 °F)
Coefficiente de Poisson	0.31 a 20 °C (70 °F)

2.3. Gás de Proteção

Foi utilizado uma mistura de gases inertes (75% Ar / 25% He), com vazão de 20 l/min, caracterizando assim, de acordo com a literatura, o processo de soldagem MIG (Metal Inert Gas)

2.4. Metodologia

Uma série de atividades e ensaios relacionados foram previamente implementados de acordo com a sequência mostrada abaixo:

- Preparação do metal de base aço AISI 4130(corte e beneficiamento).
- Preparação dos corpos de prova para soldagem, Fig. (2).
- Ajustes e seleção dos parâmetros de soldagem, Tab. (4).
- Pré-aquecimento, Fig. (2b).
- Amanteigamento do aço AISI 4130 com o INCONEL 725, Fig. (3a).
- Usinagem após o revestimento, Fig. (3b).
- Corte e preparação das amostras para os ensaios metalográficos e mecânicos.
- Ensaios metalográficos (caracterização macroestrutural e microestrutural).
- Ensaios Mecânicos (microdureza).

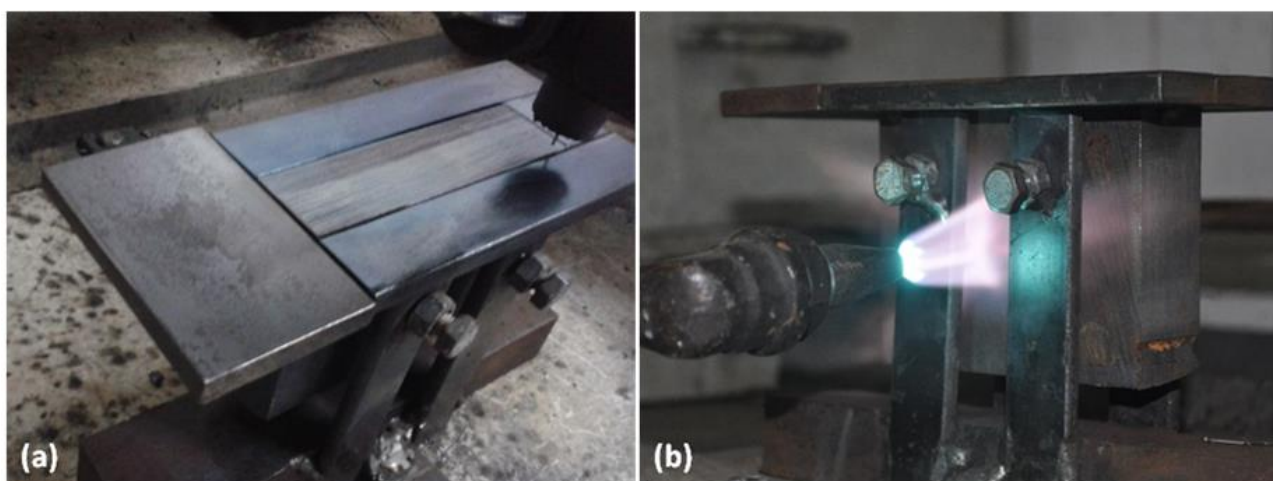


Figura 2. Etapas utilizadas na metodologia experimental: a) montagem do corpo de prova b) preaquecimento entre 240°C a 280°C.

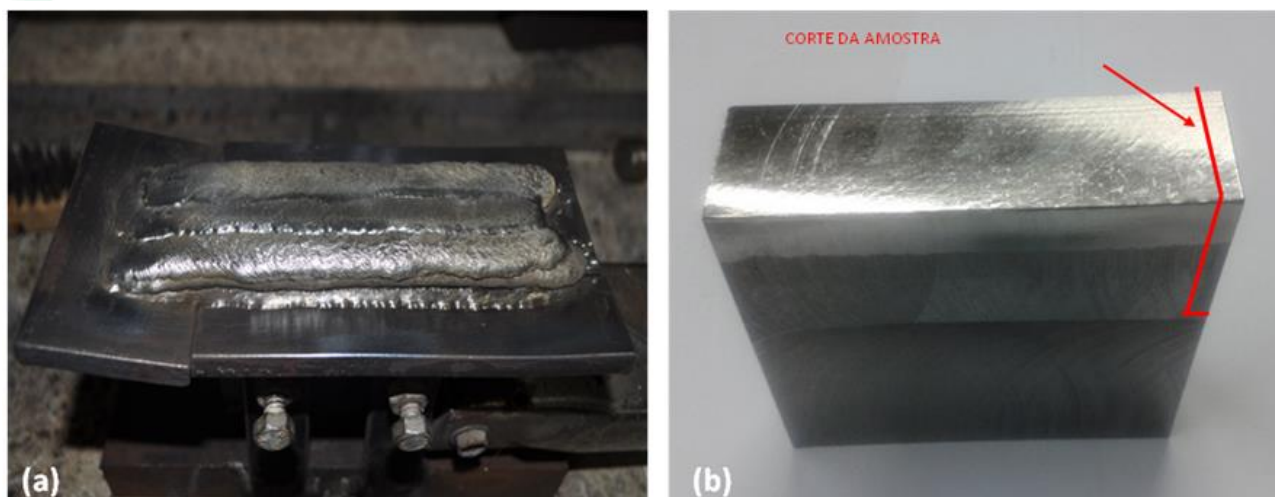


Figura 3. Etapas utilizadas na metodologia da pesquisa; a) amanteigamento com INCONEL 725 b) usinagem do amanteigamento e retirada das amostras.

2.5. Metodologia do procedimento de soldagem

Foi feito a preparação do corpo de prova para ser realizado o processo de amanteigamento, foi utilizado abas em volta do aço 4130 para dar suporte aos cordões de solda do INCONEL 725 como mostrado na Fig. (2a). Aplicou-se um pré-aquecimento na chapa Fig. (2b) de no mínimo 240°C. Paralelamente a temperatura de interpasse foi mantida no intervalo de 240°C à 280°C. Este controle de temperatura foi realizado com um pirômetro óptico digital com fundo de escala de 1500°C.

Na aplicação do amanteigamento Fig. (3a) utilizou-se o processo GMAW (MIG) com aplicação automática utilizando os modos de corrente pulsada e convencional. A célula de soldagem utilizada é composta de uma fonte de energia Modelo Digiplus A7- ARM7 de 32bits / 450A, de um sistema mecanizado para translação da tocha e de um sistema de aquisição de dados, tratamento e indicação dos dados via software SAP- V4.01. Os parâmetros de soldagem utilizados nos modos de corrente convencional e pulsado estão mostrados na Tab. (4).

Tabela 4. Parâmetros de soldagem para o amanteigamento das chapas no modo convencional e pulsado.

Amanteigamento do aço AISI 4130 com o INCONEL 725		
Modo de Soldagem	Convencional	Pulsado
Processo de soldagem	GMAW (MIG)	GMAW (MIG)
Espessura mínima do amanteigamento (mm)	9,5	9,5
Temperatura de pré-aquecimento (°C)	$240 \leq T \leq 280$	$240 \leq T \leq 280$
Temperatura de interpasse (°C)	$240 \leq T \leq 280$	$240 \leq T \leq 280$
Gás de proteção (%)	Argônio 75% + Hélio 25%	Argônio 75% + Hélio 25%
Vazão média do gás em m³/min	20	20
Corrente média (A)	163,8	187,5
Tensão média (V)	26	33,5
Velocidade de soldagem (cm/min)	16,4	16,4
Velocidade do arame (m/min)	6,5	6,5
DBCP - Distância bico de contato - peça (mm)	14	17

Após o estabelecimento dos parâmetros de soldagem foi realizado o amanteigamento que, para garantir no mínimo 9,5mm de espessura sobre a chapa, foram utilizados para o modo convencional 3 camadas, com 4 passes na primeira e 3 nas seguintes, totalizando 10 cordões de solda. Já no modo pulsado foram 4 camadas, com 4 passes na primeira e 3 nas seguintes, totalizando 13 cordões de solda, houve a necessidade de uma camada a mais na pulsada devido a uma maior diluição que ocorreu nos cordões de solda.

Após a conclusão do processo de amanteigamento iniciou-se a operação de usinagem das chapas amanteigadas, primeiramente para saber se foi garantido a espessura mínima do amanteigamento de 9,5mm e para logo em seguida fazer a extração das amostras de caracterização microestrutural e mecânica Fig. (3b), foi feita a retirada dos corpos de

prova para a preparação metalográfica das amostras a serem ensaiadas, o processo de usinagem utilizado para a obtenção das amostras foi a eletroerosão.

2.2.2. Caracterização microestrutural da solda do amanteigamento

Foram extraídas as amostras da região que se abrange o metal de base e a ZTA do amanteigamento, foram preparadas, com sequência de lixamento 220, 360, 400, 600, 800, 1000 e 1200 e posteriormente polidas com pasta de diamante de granulometrias 3μ , e $1/4\mu$, e atacadas quimicamente com Nital a 2% (vol.) 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 725.

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 na interface dissimilar foram realizadas impressões, com carga de 10g (HV 0,01) e tempo de 15s, nas regiões de interesse ao longo da interface.

3. RESULTADOS

Na sequência, têm-se os resultados obtidos nesta pesquisa. Vale ressaltar, que foco principal está na análises macroestruturais e microestruturais na interface do "amanteigamento". Na Figura (4), podemos verificar as seções transversais retiradas do amanteigamento, onde é evidenciado menores níveis de diluição imposta pelo modo de corrente pulsada, mesmo com uma energia de soldagem superior a 48% da que foi utilizada para o modo de corrente convencional. Isso provavelmente, porque com o modo pulsado, ocorre o controle mais preciso sobre a distribuição de calor na interface, com energia de soldagem menor para mesmo efeito e qualidade da solda produzida. Também foram verificados que corrente pulsada é capaz de apresentar vantagens econômicas, maior produtividade, ausência respingos gerados, melhor acabamento do cordão, menor área fundida do metal de base e ZTAs menores, sem prejuízo para a faixa operacional da velocidade de soldagem. Resultados semelhantes também foram obtidos por Kelejin (2012), ao verificar níveis de diluição menores ao utiliza a soldagem com MIG Pulsado. Além disso, o mesmo autor, observou que as zonas parcialmente diluídas (ZPD) ocorreram principalmente em soldas depositadas com maiores níveis de diluição.

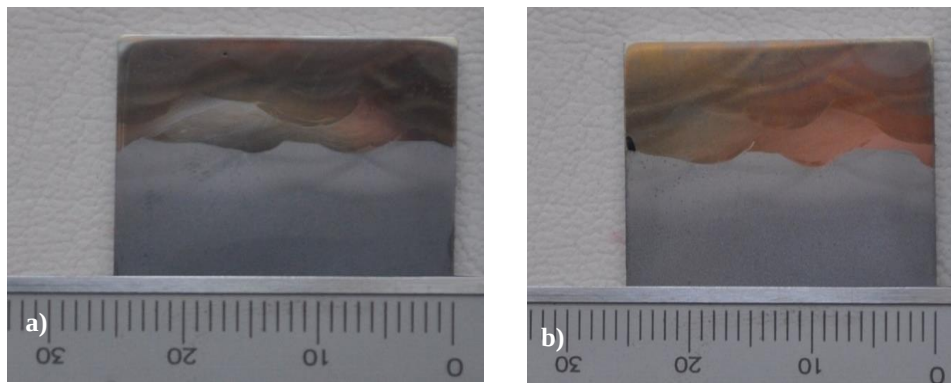


Figura 4. Macrografia da junta amanteigada: a) corrente pulsada b) corrente convencional.

3.1. Caracterização Microestrutural na Interface do Amanteigamento AISI 4130/Inconel 725/

No que diz respeito à interface dissimilar de juntas de aço soldadas com liga de níquel, um dos problemas mais estudados está relacionado a formação de zonas de elevada dureza, com microestrutura martensítica ou até mesmo austenítica, presentes na interface mesmo após realização de tratamentos térmicos de alívio de tensões (TTAT), (Oliveira 2013). 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).

As Figura 5 e 6 mostram as configurações microestruturais em torno da LF, para as soldas de amanteigamento obtidas com corrente convencional e pulsada, respectivamente; partindo-se do MB em direção ao MS segundo a nomenclatura adotada por Beaugrand *et al.* (2009a) e por DOODY (1992) para interface de juntas dissimilares. Como pode ser observado, ao utilizar o modo de corrente convencional, a formação expressiva da Zona Φ foi verificada para ambas as amostras analisadas. Entanto a redução na dimensão da Zona Φ ao longo da interface foi verificada com mais frequência ao utilizar o modo de corrente pulsada quando comparada ao convencional. Embora tenha ocorrido uma variação na espessura dessa zona, além disso 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 e o metal de solda.

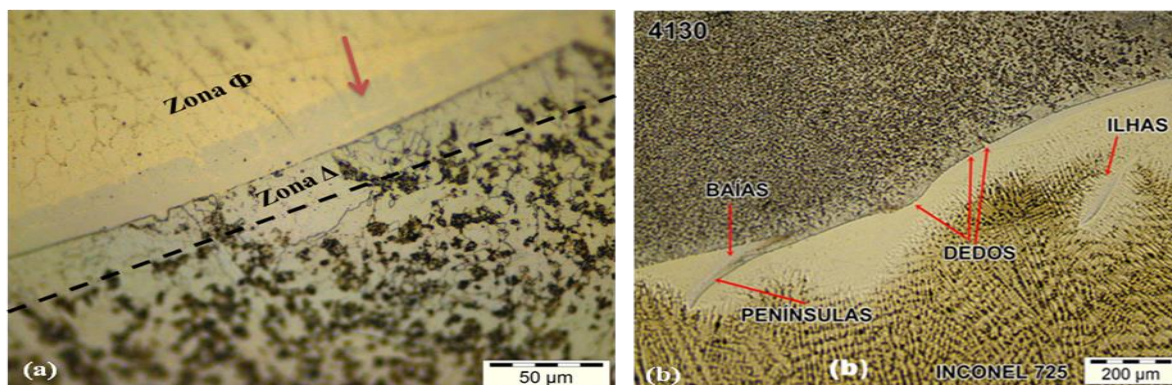


Figura 5. Micrografia da interface dissimilar do Inconel 725/4130 com MIG convencional: a) presença das regiões dissimilares citadas por BEAUGRAND et al. (2009b) b) presença das regiões dissimilares citadas por DOODY (1992).

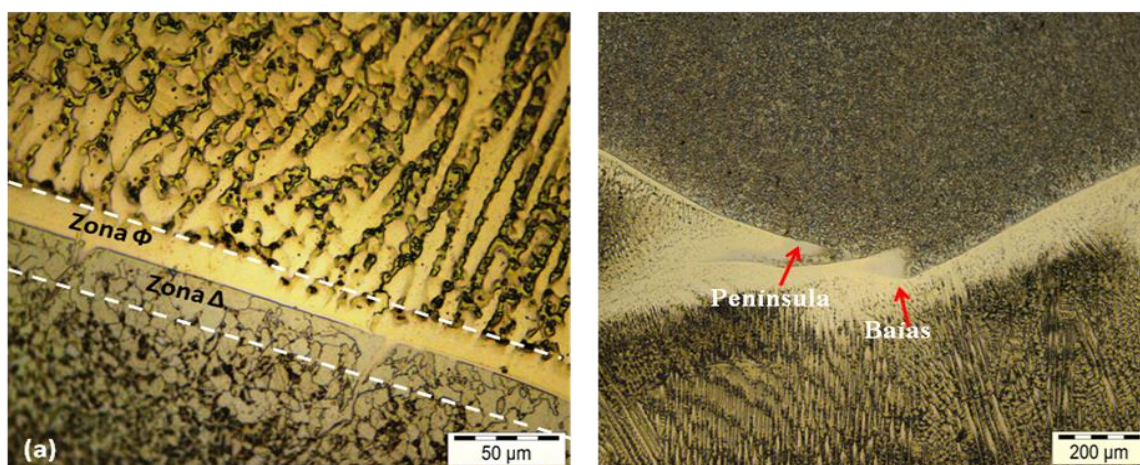


Figura 6. Micrografia da interface dissimilar do Inconel 725/4130 com MIG pulsado: a) presença das regiões dissimilares citadas por Beaugrand et al. (2009b) b) presença das regiões dissimilares citadas por Doody (1992).

De modo geral, a zona Φ mostrada na Fig(5a) apresenta-se com coloração clara. Mas pode ser verificada na região indicada pela seta vermelha, faixas escurecidas, descontínuas, no interior da zona Φ , com durezas elevadas, que supera os 400HV. A presença de uma zona de coloração mais escura, com altos valores de dureza são verificadas por vários autores (Alexandrov et al., 2013; Fenske, 2010; Olden et al., 2003). Silva (2010) também identificou a presença desta zona, a qual foi denominada de ZPM-C. Este comportamento foi associado à migração de carbono da ZTA para a Zona Φ , ocasionando um empobrecimento deste elemento na ZTA adjacente à interface. O que explica os resultados elevados da dureza nessa região, sem necessariamente associar a ocorrência de precipitados. Falhas em juntas dissimilares foram atribuídas a uma intensa nano precipitação de carbonetos na zona Φ verificadas pelos estudos de Olden et al. (2003) e Fenske (2010), ao utilizar Tratamento Térmico Pós-Soldagem (TTPS), o que levou tanto a uma fragilização devido ao excessivo ganho de dureza, como a um efeito de aprisionamento de hidrogênio nessa região.

Na figuras 6(a), 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 725 para ambos os modos de corrente utilizados, pulsado e convencional. Tem-se ainda a presença da formação que recebe a denominação de "ilhas", caracterizada por ter uma microestrutura semelhante a do metal de base e está discretamente circundada pelo metal de solda. A Figura (7), mostra o perfil de composição feito com EDS onde pode ser observada a variação da composição ao longo da interface no aço AISI 4130 com Inconel 725 com a presença de uma "ilha". Podemos observar da esquerda para direita uma queda no teor de Fe acompanhada por um aumento do teor de Ni, ao passar pela Zona Φ , em seguida um aumento do teor de Fe novamente e uma queda do teor de Ni, evidenciando a presença de "ilhas" de metal de base.

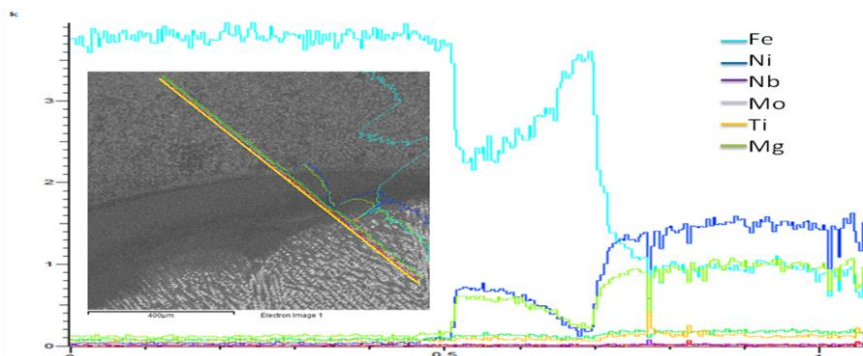


Figura 8: Perfil de composição química ao longo da interface do "amanteigamento" com formação de "ilhas"

Ainda nas Figura 5 (a) e Figura (6a) pode-se observa a formação de uma estreita região de granulação grosseira denominada de Zona Δ , bem próximo a interface do metal de solda, formados de grãos de ferrita. Essa região está presente em ambas as interfaces dos amanteigamentos com Inconel 725 tanto para o modo pulsado, quanto para o convencional. No entanto quando comparamos a Fig (5a) com a Fig(6a), verificamos que a granulação é mais grosseira no modo de corrente convencional. Isso pode está relacionado a um processo de descarbonização associada a sucessivos ciclos térmicos no processo do "amanteigamento". Deve-se observa também que o tamanho de grãos encontrados nessas regiões descarbonetada, pode esta associado a ausência de carbonetos que dificultem o crescimento do grão pós recristalização (Almeida, 2013). Esses resultados esta de acordo com as observados realizadas por vários autores (Alexandrov *et al.*, 2013; Fenske, 2010; Olden *et al.*, 2003), ao identificar a presença de faixas escurecidas, descontínuas, no interior da zona Φ , com durezas elevadas atribuindo-as á migração de carbono da ZTA para a Zona Φ .

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 tal 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.

3.2. Microdureza na Interface do amanteigamento

As Figura (8a) e a Figura (8b) realizadas com MIG Convencional e as Fig (9a) e Fig (9b) MIG Pulsado mostram as impressões de microdurezas (HV 0,01-10g) em cada zona formada na interface do amanteigamento. A presença de regiões endurecidas foram encontradas para ambas as condições, no entanto, os maiores níveis de dureza foram verificados em regiões denominadas de "redemoinhos" e Zonas M. Segundo Dogde (2014), o processo de soldagem promove a formação de "redemoinhos", mencionando que estes 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 esta de acordo 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 e 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 reduz o risco de trincas.

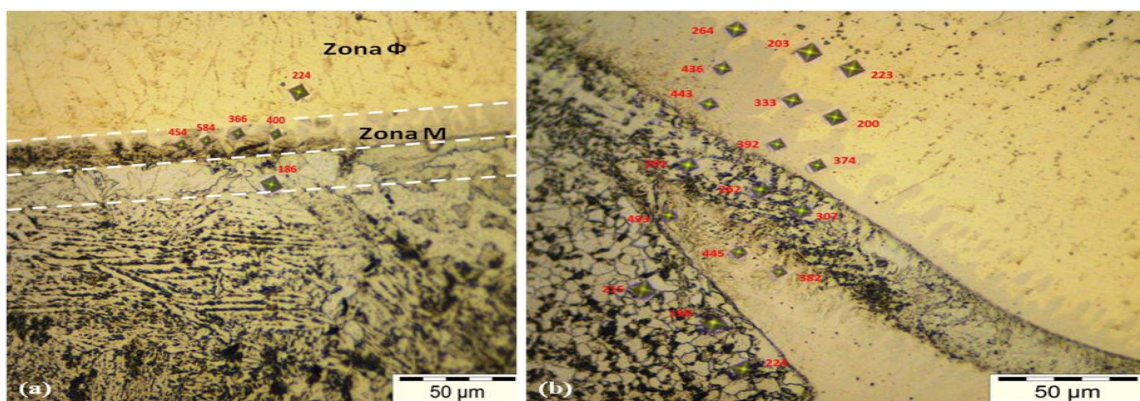


Figura 8. Microdureza encontrada na interface do amanteigamento com MIG convencional; a) Zona π , Zona Φ e Zona Δ ; b) "redimoinhos"

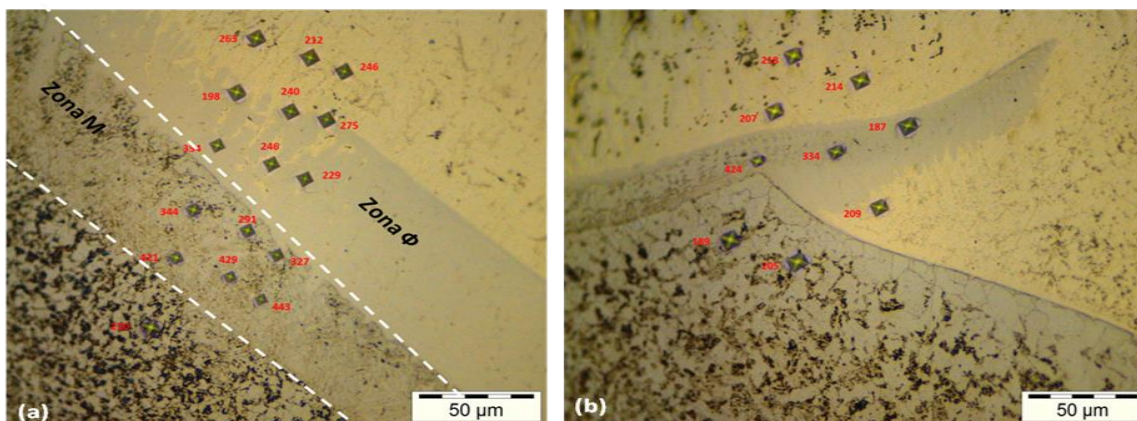


Figura 7. Microdureza encontrada na interface do amanteigamento com MIG pulsado ; a), Zona Φ e Zona M; b)"redemoinhos"

Para ambos os modos de corrente, seja convencional ou pulsada, verificou-se a formação de tais "redemoinhos" e Zona M, como pode ser observado nas Figura (8) e Figura (9). O que diferencia são as dimensões. Na interface com corrente pulsada foi verificado que a espessura da Zona M foi maior quando comparada com a convencional. Já com relação corrente convencional, é verificado que as dimensões dos redemoinhos são maiores. Como também pode ser observado na Fig(8a), picos de dureza de 584HV, o que evidencia a presença marcante da martensita na Zona M. Além disso, é possível verificar que os maiores níveis de dureza foi encontrado quando utiliza-se a corrente convencional. Esse resultados foram observados por Beaugrand *et al.*, (2009a) ao verificar que o aumento da entrada de calor, minimizar a formação de redemoinhos e suaviza a formação da região martensita.

4. CONCLUSÕES

Após a discussão dos resultados que foram apresentados, conclui-se que:

- A interface do amanteigamento realizado com modo de corrente pulsado apresentou menores níveis de diluição.
- A formação de zonas frágeis do tipo "redemoinhos" e Zona M, na interface do amanteigamento foram verificadas para ambos os procedimentos de soldagem.
- O tipo de corrente utilizado influenciou nas dimensões da Zona Φ , Zona M, e tamanhos dos "redemoinhos"
- A formação da Zona Φ foi verificada para ambos os modos de corrente, pulsada e convencional. No entanto com a corrente pulsada, suas dimensões foram reduzidas.
- As juntas amateigadas com corrente pulsada apresentaram um perfil menor de microdureza do que a interface dissimilar resultante da corrente de soldagem convencional.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro para a realização das pesquisas além do IFPB e da UFPB por fornecerem infraestrutura necessária para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Alexandrov, B. T.; Lippold, J. C.; Sowards, J. W.; Hope, A. T.; Saltzmann, D. R. 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, Dez. 2012.
- ASM International: Classification and Designation of Carbon and Alloy Steels. In: *ASM Handbook*, v. 1, 10ª ed., pp 140 – 194, 1990.
- Beaugrand, V. C. M.; Smith, L. S.; Gittos, M. F. Subsea Dissimilar Joints: Failure Mechanisms And Opportunities For Mitigation. In: *NACE Corrosion 2009, 2009b*, Atlanta - Georgia - USA. NACE. p.Paper Nº 09305.
- Cantarin, Tadeu Noveli, 2011. Caracterizações mecânicas e microestruturais do aço AISI 8630 modificado, revestido com a liga de níquel 625 por soldagem "GTAW": 2011. 76p. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Dieter, G. E. *Mechanical Metallurgy*. SI Metric Ed. Singapore: MacGraw-Hill Book 1988. p.
- Doody, T. Intermediate mixed zones in dissimilar metal welds for sour service. *Welding Journal*, v. 71, p. 55–60, 1992.
- Dupont, J. N. and Kusko, C. S., "Technical Note: Martensite Formation in Austenitic / Ferritic Dissimilar Alloy Welds.": *Weld. J.* 86 (2007) 51s–54s 2007.

- Fenske, J. A., Microstructure and hydrogen induced failure mechanisms in iron-nickel weldments. 2010. Dissertation. (Doctor of Philosophy in Materials Science and Engineering). University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois, 2010
- Gould, E. K. Development of Constitution Diagram for Dissimilar Metal Welds in Nickel Alloys and Carbon and Low-Alloy Steels. f., The Ohio State University 2010.
- INFOSOLDA. Revestimento por soldagem-processos de soldagem para revestimento, Disponível em <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/180-revestimento-por-soldagem-processos-de-soldagem-para-revestimento.html>>. Acesso em 12 de dezembro 2016.
- Kejelin, N. Z. Soldagem De Revestimento De Aços Comuns C-Mn Com Superliga A Base De Níquel Inconel 625. f. (Doutorado). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
- Kou, S.; Yang, Y. K. Fusion-Boundary Macroseggregation in Dissimilar-Filler Welds. *Welding Journal*, v. 86, p. 303-s-312-s, 2007.
- Linnert, G. E.; *Welding Metallurgy – Carbon e Alloy Steels*. Miami: American Welding Society, 4ª edição, p. 628, 1995.
- NACE. 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. 1:2005(E). U.S.A.: NACE. 2005.
- Oliveira, G. L. G. Soldagem dissimilar dos aços AISI 8630M e ASTM A182 F22 para aplicações subaquática. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- Savage, W. F.; Nippes, E. F.; Szekeres, E. S. A study of fusion boundary phenomena in a low alloy steel. *Welding Journal*, v. 55 (9), p. 260-s-268-s, 1976.
- Shoemaker, L. E. Alloys 625 and 725: trends in properties and applications. in *Superalloys 718, 625, 706 and Derivatives 409–418* Minerals, Metals & Materials Soc (2005).
- Yang, Y. K.; Kou, S. Weld-Bottom Macroseggregation Caused by Dissimilar Filler Metals. *Welding Journal*, v. 86, p. 379-s-387-s, 2007.
- Silva, Maurício de Carvalho. Determinação experimental da tenacidade à fratura da zona termicamente afetada de junta soldada de aço API 5L X80. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2009.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

MECHANICAL AND METALLURGICAL BEHAVIOR OF STEEL AISI 4130 BUTTERY WITH INCONEL 725

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: This work aims to analyze the metallurgical behavior of the different regions of buttery welds of steel AISI 4130 with Inconel 725. The MIG welding process is used in the deposition of buttery. The materials used were AISI 4130 steel as the base metal, AWS ERNiCrMo-15) electrode wire as the addition metal and the mixture 75% Ar + 25% He as protective gas. As influence variables two current modes are analyzed: conventional and pulsed. The response variables are: dilution of the weld metal, extent of the thermally affected zone, microstructure and hardness of the regions of the buttery weld. The control parameter was the deposition rate given by the relationship between the feed rate of the wire and the welding speed. The results showed that welding carried out with pulsed current generated a weld bead with greater width and less dilution than the conventional current; The results show that the different regions of AISI 4130 steel with buttery present different mechanical and metallurgical behavior for the types of welding chains used.

Key-words: Welding GMAW, buttery, microstructure, hardness.

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