

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO DA HOMOGENEIDADE DE REVESTIMENTOS E O USO DOS DIAGRAMAS DE SCHAEFFLER E DELONG NAS SOLDAGENS COM O PROCESSO MIG/MAG COM DUPLO ARAME

Marcelo Degani Prata, marcelodegani22@gmail.com¹
Marcelo Ferreira Motta, marcelof@ufc.br¹
Ana Cláudia Rodrigues Silva, anaclaudia@alu.ufc.br¹
Madson Germano Unias e Silva, madson.br@gmail.com¹
Igor Paulino Fernandes, igor.engmet@outlook.com¹
Liana da Silva Moreira, lianajouli@hotmail.com¹
Hélio Cordeiro de Miranda, hmiranda@ufc.br¹
Cleiton Carvalho e Silva, cleitonufc@yahoo.com.br¹

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Laboratório de Pesquisa e Tecnologia em Soldagem, Fortaleza-Ceará

Resumo: A soldagem de revestimentos é muito utilizada na indústria de petróleo e gás, para fabricação e reparo de equipamentos. A utilização de processos que possibilitam a realização das soldagens em menor tempo, sem perder a qualidade dos revestimentos, é de interesse das indústrias, por impactar diretamente no custo do processo. O estudo de novos materiais que proporcionem vida mais longa ao equipamento também vem sendo realizado pelos pesquisadores na área de soldagem. O presente trabalho tem por objetivo caracterizar metalurgicamente revestimentos feitos pelo processo de soldagem MIG/MAG duplo arame, utilizando metais de adição dissimilares, aço inoxidável austenítico (AWS 5.9 ER 307) e aço carbono (AWS 5.18 ER80S-D2), para confirmar se a microestrutura do revestimento é homogênea. O estudo se justifica uma vez que se já identificou o potencial do processo para misturar materiais com composições e propriedades químicas, bem como propriedades mecânicas distintas visando obter uma liga com propriedades e composição intermediária. Os revestimentos foram soldados variando-se a sobreposição dos cordões e a velocidade de alimentação dos arames. A fonte foi ajustada para operar em modo tensão constante, velocidade de soldagem de 60 cm/min e uma mistura de argônio e 25% de dióxido de carbono como gás de proteção. Foi feita a verificação da geometria dos cordões de solda, medindo-se largura, reforço e diluição. Posteriormente, foram selecionados quatro revestimentos com parâmetros distintos de sobreposição de cordões, proporção de eletrodos misturados e diluição. Simulações computacionais foram realizadas através de software desenvolvido exclusivamente para previsão de microestruturas, baseado nos diagramas de Schaeffler e Delong. Análise de microestruturas foram realizadas através de microscopia ótica (MO) e eletrônica de varredura (MEV). A avaliação das características mecânicas foi feita através de ensaios de microdureza Vickers. A microestrutura predominante encontrada em todos os revestimentos foi a martensita, que foi também prevista na simulação realizada.

Palavras-chave: MIG/MAG duplo arame, revestimentos, martensita, diagramas de Schaeffler e Delong

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem MIG/MAG com Duplo Arame surgiu conforme a necessidade de aumentar a produtividade da indústria, sem detrimento da qualidade. Este processo proporciona altas taxas de deposição de material, permitindo o aumento da velocidade de soldagem e a redução do número de passes devido à formação de cordões mais volumosos e, consequentemente, a redução do tempo de soldagem (Ponomarev, Scotti, 2008). Esse processo tem sido utilizado em soldagens de revestimentos, e caracteriza-se por apresentar dois arcos elétricos que se estabelecem sobre uma única poça fundida, formados a partir de arames-eletrodo duplos alimentados continuamente.

Uma de suas principais características é que o processo permite o uso de metais de adição dissimilares, possibilitando um metal de solda com características intermediárias. Essa mistura pode promover a potencialização de alguma característica específica das ligas em separado, como por exemplo, a resistência mecânica à corrosão no caso dos aços inoxidáveis austeníticos ou a melhora nas propriedades mecânicas e metalúrgicas da mistura final. Essas

características podem ser responsáveis, também, pela redução de custos no desenvolvimento de novas ligas (González, Dutra, 1999).

A soldagem de revestimento pode ser utilizada quando há a necessidade de manutenção e reparação de um equipamento, com o intuito de diminuir o seu tempo de parada e minimizar os custos da compra de novos materiais. A indústria de petróleo e gás enfrenta diversos problemas em suas unidades de trabalho, dentre os quais se destaca a degradação de materiais devido a processos de corrosão. Por este motivo, nos últimos anos se tem investido bastante na pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e tecnologias resistentes à corrosão, importantes para as soldagens de revestimentos internos e externos de dutos e equipamentos offshore (Garcia, 2001).

A evolução da aplicação do aço como material de engenharia se deve a diversos fatores técnicos e econômicos. Nos últimos anos, os conhecimentos sobre composição química, estrutura, propriedades e desempenho foi aprimorado com o objetivo de melhorar cada vez mais as características e propriedades das ligas existentes. Em soldagem, a união de materiais dissimilares é uma constante e, mais especificamente na soldagem com duplo arame, o emprego de eletrodos com composições químicas distintas torna o processo ainda mais complexo. As características metalúrgicas da zona fundida, como composição química e microestrutura, dependerão de inúmeros fatores como composição química e proporções adicionadas de cada liga dos arames eletrodos, composição química do metal de base, diluição e ainda velocidade de resfriamento após a soldagem, e são de previsão complexa. Em uma análise da literatura, nenhum estudo abordando a homogeneidade da liga resultante da mistura de metais dissimilares foi encontrado para a soldagem com o MIG/MAG com Duplo Arame. Desse modo, é de suma importância conhecer se há ou não uma homogeneidade de microestrutura e composição química na liga final (Colpaert, 2008).

Duas importantes ferramentas na predição de microestruturas são os diagramas de Schaeffler (1949) e DeLong (1974). Estes permitem aos usuários dos processos estimarem o tipo de estrutura predominante na poça de fusão a partir dos valores de diluição e composição química dos metais de base e de adição. Contudo, devido ao fato de ter como parâmetros apenas composição e diluição, estes diagramas não são aplicáveis para duplo arame nos casos em que arames de composições e/ou diâmetros distintos são utilizados simultaneamente na formação do cordão de solda. Para estes casos, além dos valores de composição e diluição, outros parâmetros como velocidade de alimentação e diâmetro do arame precisam ser conhecidos e levados em conta. Tais parâmetros influenciam diretamente a composição final da mistura resultante.

Em pesquisas bibliográficas sobre o processo MIG/MAG com Duplo Arame, tanto na literatura quanto nos catálogos dos fabricantes, não foi possível localizar qualquer ferramenta que possibilite uma estimativa das estruturas metalúrgicas predominantes no cordão de solda. Devido a isso foi criada uma ferramenta de cálculo capaz de atender também aos casos ainda não contemplados, bem como possibilitar o desenvolvimento de um banco de informações que possa ser abastecido com dados provenientes de novos estudos e experimentos a critério do usuário.

Assim, este trabalho propõe analisar o metal de solda do revestimento obtido pelo processo MIG/MAG com Duplo Arame, no qual são utilizados metais de adição distintos: um aço inoxidável austenítico e um aço carbono. O objetivo é avaliar a homogeneidade da mistura final do revestimento. Essa análise foi feita através da caracterização da microestrutura do revestimento por meio de: microscopias óptica e eletrônica de varredura (MEV); composição química e ensaio de microdureza Vickers, para geração do perfil de microdureza.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os revestimentos foram soldados pelo processo de soldagem MIG/MAG com Duplo Arame utilizando um arame-eletrodo de aço inoxidável AWS 5.9 ER 307 e outro de aço carbono AWS 5.18 ER80S-D2, soldados em chapas de aço carbono ASTM A36 em forma de barra chata. A fonte foi ajustada para operar em modo de tensão constante, a transferência metálica foi por curto-circuito, a velocidade de soldagem adotada igual a 60 cm/min e uma mistura de argônio e 25% de dióxido de carbono foi usada como gás de proteção, com vazão de 35 L/min. Foram adotados níveis de sobreposição dos cordões iguais a 20% e 50% e velocidades de alimentação dos arames iguais a 4 m/min, 5 m/min e 6 m/min. As composições em peso dos materiais utilizados estão relacionadas na Tab. 1.

Soldagens preliminares foram realizadas para cada arame separadamente, variando-se velocidade de alimentação e tensão na fonte, com o objetivo de determinar a tensão mais estável para cada velocidade de alimentação dos arames. Primeiramente, foram soldados cordões simples utilizando-se apenas um arame de cada vez, com velocidade de soldagem de 30 cm/min e variando-se a velocidade de alimentação (3, 4, 5 e 6 m/min) e a tensão na fonte.

Tabela 1. Composição química dos consumíveis.

Composição (% em peso)								
Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
ASTM A36	0,23	0,09	0,67	0,01	0,08	-	-	-
ER 307	0,08	0,9	7	-	-	18	8	-
ER 80S-D2	0,10	0,70	1,70	-	-	-	-	0,50

As tensões escolhidas para cada par, arame e velocidade de alimentação, foram determinadas como sendo aquelas para as quais o desvio padrão das variáveis indicadas na Tab. 2 apresentaram os menores valores. O menor valor de

desvio padrão foi adotado como critério de estabilidade de arco para este trabalho. As tensões de soldagem utilizadas foram de 18 a 23 V.

Para utilizar uma velocidade de soldagem maior e reduzir o tempo do processo adotou-se o valor 60 cm/min. Contudo, devido às limitações construtivas da tocha do MIG/MAG com Duplo Arame, percebeu-se que para essa velocidade de soldagem apenas as velocidades de alimentação de arames iguais a 4, 5 e 6 m/min e disposição de eletrodos em série foram as condições que produziram a formação de um único cordão de solda. Para fins de comparação entre os distintos revestimentos produzidos no estudo, procurou-se manter o nível de energia e o volume de material depositado em cada condição explorada. Para tanto, manteve-se constante a soma das velocidades de alimentação dos eletrodos iguais a 10 m/min. Neste trabalho, os fatores a serem explorados nos estudos são proporção relativa dos eletrodos e sobreposição dos cordões de solda. Os fatores de controle e os respectivos níveis de exploração estão apresentados na Tab. 3. Para manter um padrão nas soldagens o eletrodo de aço carbono foi posicionado à frente do eletrodo de aço inoxidável. A distância bico de contato à peça (DBCP) adotada foi de 20mm.

Seis revestimentos distintos foram soldados e estão apresentados na Tab. 3. Após as soldagens, os revestimentos foram cortados e duas amostras obtidas de cada condição foram atacadas por imersão em Nital 2%, para visualizar a interface metal de solda e metal de base. As medidas feitas da geometria dos cordões incluem largura (L), reforço (R), diluição (D) e ângulo de molhamento (α), Fig. 1.

Tabela 2. Determinação da tensão de soldagem para o eletrodo de aço carbono (Vel.al. = 4 m/min).

Desvios padrão para velocidade de alimentação de 4 m/min			
	Tensão (V)		
	18	19	20
Desvio padrão de picos de corrente (A)	55,9	35,9	40,6
Desvio padrão de picos de tensão (V)	2,5	2,3	2,3
Desvio padrão do período total (ms)	3,8	3,4	6,6
Desvio padrão do período de arco aberto (ms)	3,0	3,0	5,9
Desvio padrão do período de curto-circuito (ms)	1,3	0,8	1,2
Desvio padrão da derivada de subida (A/ms)	3,7	4,0	8,5
Desvio padrão da derivada de descida (A/ms)	6,0	4,3	5,8

Tabela 3. Condições de soldagem.

Condição de soldagem	Sobreposição (%)	Proporção dos eletrodos (%)	Velocidade de alimentação (m/min)	
			ER 307	ER 80S-D2
1	50	50/50	5	5
2	20	50/50	5	5
3	50	40/60	4	6
4	50	60/40	6	4
5	20	40/60	4	6
6	20	60/40	6	4



Figura 1. Medidas de geometria.

Revestimentos obtidos com diferentes sobreposições e diluição foram selecionados para a realização da caracterização metalúrgica e levantamento de perfis de microdureza. Os ensaios de microdureza foram realizados com carga de 0,1kgf (980,7mN), tempo de penetração de 10 segundos e distância de 0,20mm entre as penetrações. A análise de composição química foi feita através da técnica de Espectroscopia de raios-X por dispersão de energia nas amostras 2, 1 e 4, pois estas representam níveis de diluição alto, médio e baixo, respectivamente. As análises por estes métodos foram feitas em linha. Apenas na amostra do revestimento 2 a composição química foi analisada em pontos para se obter a composição em massa de cada elemento constituinte. A Fig. 2 mostra as linhas e os pontos selecionados para estas análises.

As amostras 1, 2 e 4 foram atacadas por imersão no reagente Vilella para revelar a microestrutura e, posteriormente, foram analisadas através de microscópio óptico (MO) para obtenção de uma imagem panorâmica da microestrutura da

região do cordão central. As amostras também foram analisadas por um microscópio eletrônico de varredura (MEV) nas posições de início, meio e interface do cordão central, conforme Fig. 3.

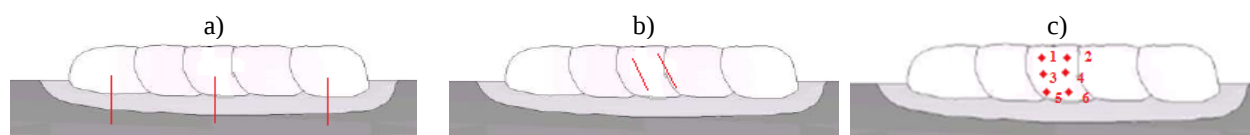


Figura 2. Representação da localização das linhas de a) microdureza, b) composição química e c) dos pontos de composição química.

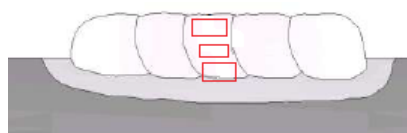


Figura 3. Representação da localização das análises feitas pelo MEV.

A simulação computacional foi feita com uma planilha de cálculos desenvolvida no software Microsoft Excel, tomando por base os diagramas de Schaeffler e DeLong, com o objetivo de prever a microestrutura resultante da mistura de dois materiais diferentes.

O trabalho de Schaeffler (1949) propôs uma relação matemática entre os elementos de liga que promoviam a formação da ferrita e aqueles que promoviam a formação da austenita (Davis, 1994). Como o trabalho era direcionado ao caso dos aços inoxidáveis, e nestes os elementos de liga adicionados em maior proporção mássica normalmente são cromo e níquel, Schaeffler estabeleceu a relação de “cromo equivalente” para os elementos ferritizantes e “níquel equivalente” para os elementos austenitizantes. Uma das limitações deste diagrama é quando são utilizadas composições com elementos menos convencionais e quando uma concentração considerável de nitrogênio se faz presente (Lampman, 1997).

Apesar de boa precisão para a maioria dos casos, percebeu-se que Schaeffler não levava em consideração o nitrogênio em seus estudos. Tal elemento possui um forte efeito de favorecer a austenitização, em detrimento da ferrita, nas ligas de aço. Também foi constatado um tratamento incorreto em relação ao manganês. Em altas temperaturas, o manganês não promove a formação de austenita, como previsto pelo diagrama. Em baixas temperaturas, no entanto, o manganês estabiliza a austenita frente à transformação martensítica (Kotecki, Siewert, 1992). Além disso, o diagrama de Schaeffler faz estimativas baseadas em termos de percentual de ferrita. Posteriormente constatou-se a imprecisão deste método em certos casos e foi definido um “número ferrítico” (FN) para compensar estes. O valor de FN é determinado com base em efeitos magnéticos, o que torna os ensaios menos destrutivos. DeLong (1974) publicou seu diagrama na tentativa de aperfeiçoar os estudos de Schaeffler. Os estudos realizados por DeLong se concentravam na precisão das estimativas, por este motivo, seu diagrama possui uma região mais limitada do que o de Schaeffler. Ainda assim, seu diagrama contempla boa parte dos metais de solda austeníticos utilizados na época.

Com base nesses dois diagramas a planilha permite a combinação dos eletrodos, feita dando como entrada para o programa as composições químicas de cada eletrodo e do metal de base, as velocidades de alimentação e os diâmetros dos eletrodos e os dados de diluição. O programa gera a composição química da mistura final e plota a localização dessa nova liga no diagrama de Schaeffler.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de Geometria da Solda

A Tab. 4 apresenta os valores medidos de geometria dos cordões de solda. Analisando os resultados da Tab. 4, observa-se que os revestimentos com maior nível de sobreposição (1, 3 e 4) têm menor largura, maior reforço e menor diluição. O posicionamento da tocha neste nível de sobreposição resulta em material depositado sobre metade do cordão soldado anteriormente, o que pode aumentar o reforço, diminuindo largura e diluição.

Tabela 4. Medidas de geometria dos cordões de solda.

Condição de soldagem	Largura (mm)		Reforço (mm)		Diluição (%)	
1	44,1	42,5	4,1	4,2	14,1	10,8
2	49,6	50,4	2,9	3,1	29,4	28,2
3	38,2	38,8	4,3	4,1	13,2	11,7
4	39,1	39,1	5,1	5,4	6,0	4,6
5	42,4	43,2	3,2	3,1	25,3	29,0
6	49,3	48,7	3,2	3,2	25,3	25,4

Quando a sobreposição é de 20% o material depositado está mais concentrado no metal de base produzindo cordões com maior largura, diminuindo o reforço e aumentando a diluição. O revestimento 2 teve a maior diluição, o 4, a menor e o 1 e o 3, valores de diluição intermediários, por isso estes revestimentos foram escolhidos para análises posteriores.

3.2. Análise por MO e MEV

A análise por microscópio óptico, com aumento de 200x, revelou uma estrutura com microestrutura martensítica ao longo de todo o revestimento nas amostras 1, 2 e 4. A amostra do revestimento 1 apresentou uma região de zona refundida entre dois cordões de solda, que pode ter sido ocasionada por correntes de convecção na poça de fusão geradas principalmente por forças eletromagnéticas, gradientes de tensões superficiais e impactos das gotas do metal de adição (Mougo, 2012). Foram realizados ensaio de microdureza e análise de composição química para avaliar se as características do metal de solda nessas regiões refundidas são diferentes das predominantes no revestimento. O revestimento de número 4 apresentou uma falta de fusão que pode ter sido causada pela influência dos materiais diferentes de cada eletrodo ou ainda como resultado de energia mais baixa, já que o eletrodo de aço carbono da frente estava com velocidade de alimentação menor do que o outro eletrodo.

A análise por microscópio eletrônico de varredura, com aumento de 1000x e 2000x, nas regiões de superfície, central e na interface de cordões de solda confirmou a predominância da microestrutura martensita ao longo de todos os cordões. Os resultados panorâmicos por MO e por MEV podem ser visualizados na Fig. 4 e na Fig. 5, respectivamente.

Das microestruturas que podem ser produzidas para uma liga de aço, a martensita é a mais dura, a mais resistente e, além disso, a mais frágil, com dureza dependendo do teor de carbono (Callister, 2002).

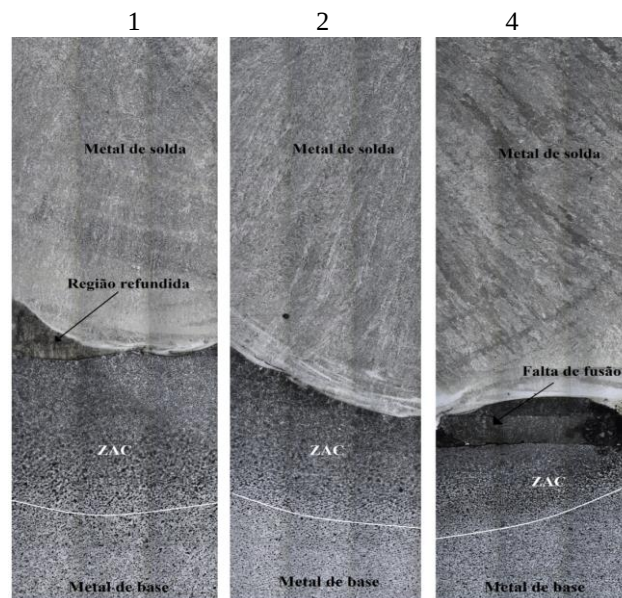


Figura 4. Imagens panorâmicas das regiões de cordão central dos revestimentos 1, 2 e 4 feitas por MO.

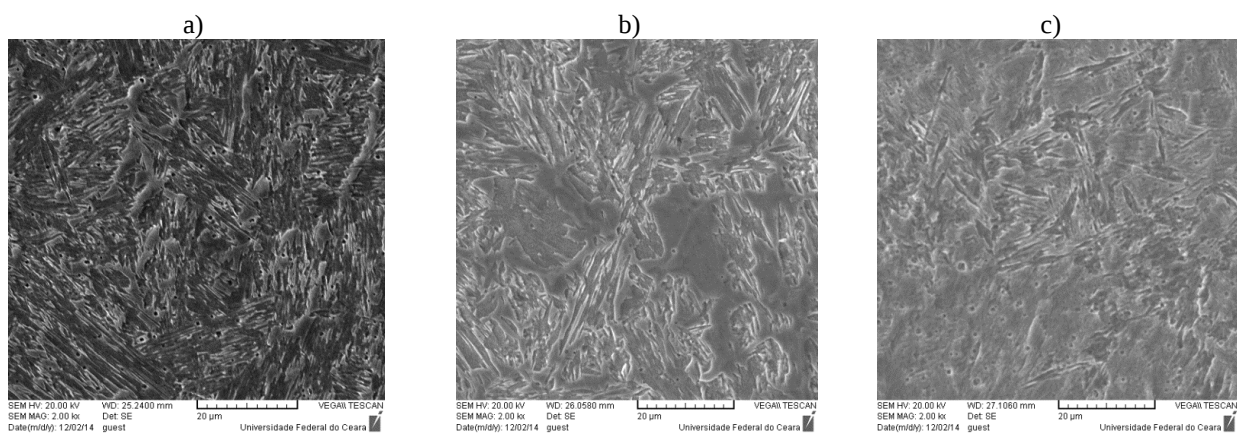


Figura 5. Microestrutura do a) revestimento 1, centro do cordão, b) revestimento 2, superfície do cordão, c) revestimento 4, interface do cordão. Aumento de 2000x.

3.3. Ensaio de Microdureza

Os valores de microdureza encontrados no metal de solda condizem com os valores da microestrutura martensítica, Tab. 5. Esses valores altos de microdureza Vickers são ocasionados principalmente pela influência dos elementos de liga, principalmente níquel e cromo, que aumentam a dureza do metal de solda resultante. Os resultados mostraram que a microdureza é menor na interface metal de solda/metal de base, tendo um aumento até se estabilizar em todo o metal de solda, predominantemente martensítico (no meio e na superfície do revestimento).

As análises de MO e MEV e o ensaio de microdureza mostram que a soldagem utilizando dois metais de adição não temperáveis resultou em um metal de solda temperável. O aço inoxidável não é temperável porque tem níquel dentre seus elementos de liga, já que este elemento estabiliza a austenita à temperatura ambiente, evitando a transformação de austenita em ferrita, e possibilitando a transformação martensítica na soldagem com metais dissimilares. O aço carbono possui uma temperabilidade muito baixa devido a seu baixo teor de carbono e nenhum elemento de liga. Com a mistura dos aços os teores de Ni e Mn caem. Com a presença de Cr e C, a austenita deixa de ser estável, deslocando as curvas TTT para a direita, possibilitando a formação da martensita e, consequentemente, um metal de solda temperável. A Fig. 6 mostra as linhas de penetração do ensaio para o revestimento 2.

Tabela 5. Média das microdurezas nas três linhas de análise nos revestimentos selecionados.

Revestimento	Local da penetração	Média da microdureza (HV)
1	Primeiro	359,8
	Meio	366,4
	Último	357,8
	Média Total	361,3
2	Primeiro	450
	Meio	450
	Último	457,4
	Média Total	452,7
3	Primeiro	410,4
	Meio	415,1
	Último	447,3
	Média Total	424,3
4	Primeiro	325,3
	Meio	302,4
	Último	372,8
	Média Total	333,5

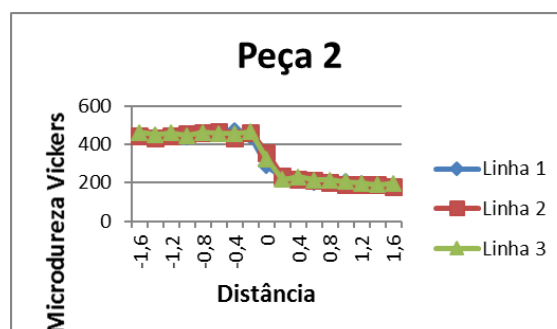


Figura 6. Perfil de microdureza nas linhas de penetração dos três cordões do revestimento 2.

3.4. Composição Química

Para confirmar a homogeneidade dos revestimentos, foi feita a análise da composição química por EDS nas amostras 1, 2 e 4. Os resultados obtidos mostraram que os perfis de composição química foram praticamente uniformes para todas as três amostras. Como exemplo, tem-se na Fig. 7 e na Fig. 8 os perfis para os revestimentos 1 e 4. O revestimento 4 apresentou resultado um pouco diferente dos outros dois, sendo que um dos motivos para isso pode ter sido ocasionado pelo defeito da falta de fusão que comprometeu um pouco as características da microestrutura.

Não havendo variação significativa nos perfis, conclui-se que a composição química uniforme resultante em cada revestimento é característica de uma nova liga formada pela mistura dos materiais dissimilares.

O perfil de composição química da região refundida do revestimento 1 não variou quando comparado aos perfis da região central e entre cordões, podendo-se confirmar que há um mesmo perfil de composição química também nessa região.

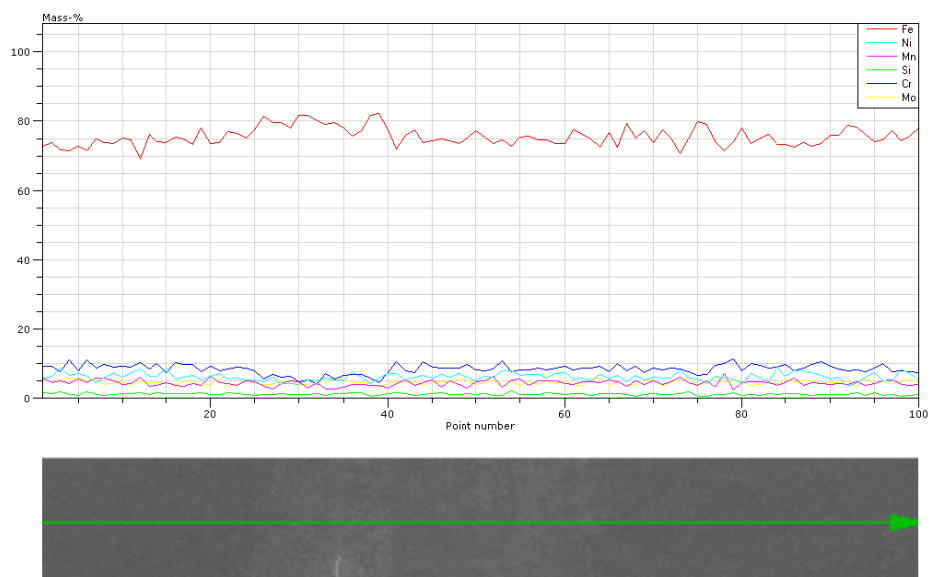


Figura 7. Espectro da região entre cordões no revestimento 1.

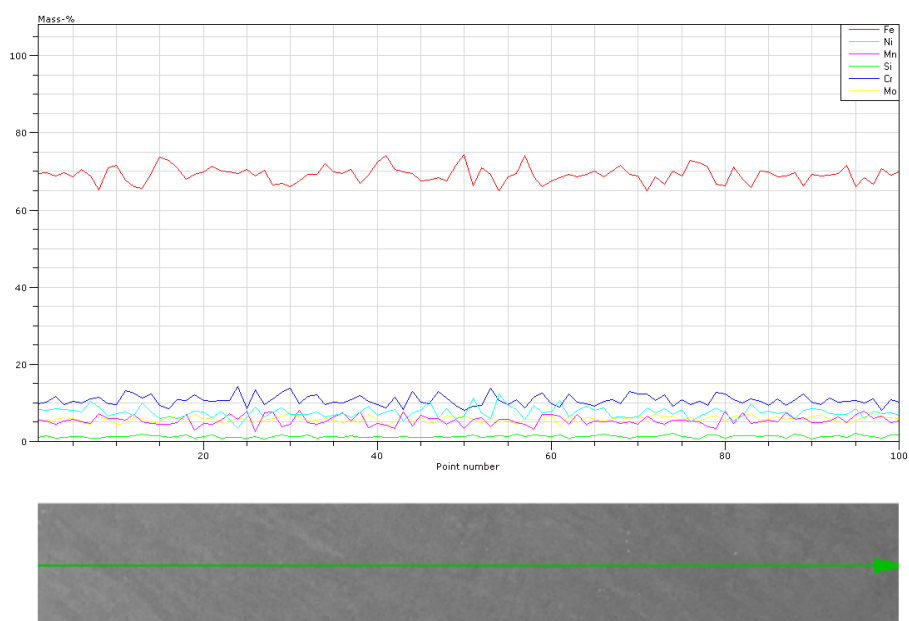


Figura 8. Espectro da região entre cordões no revestimento 4.

A análise pontual do revestimento 2, que tem como objetivo especificar a composição química exata de cada elemento, foi realizada com o espectrômetro de energia dispersiva. Na Fig. 9 estão os resultados para dois pontos apenas, pois todos apresentaram resultados praticamente iguais.

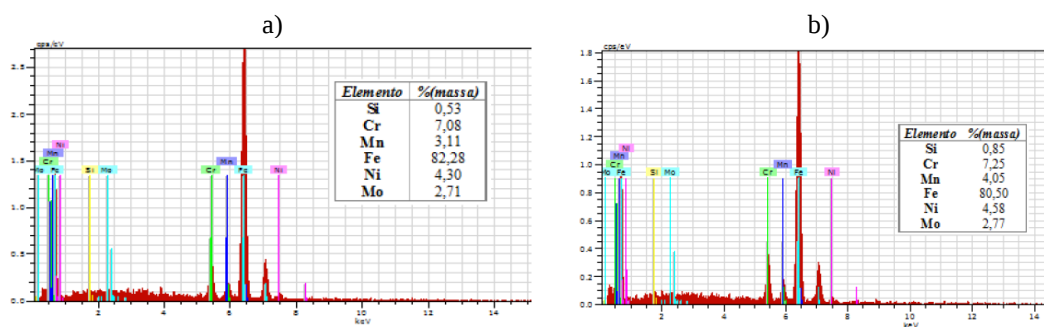


Figura 9. Percentuais em massa encontrados a) no ponto 1 e b) no ponto 6

3.5. Simulação Computacional

O programa desenvolvido prevê a localização do metal de solda resultante no diagrama de Schaeffler, conforme Fig. 10 para o revestimento de número 2.

O ponto vermelho na Fig. 10 representa o metal de base, os pontos brancos representam os dois eletrodos utilizados, o ponto azul representa a mistura resultante da utilização dos eletrodos de materiais diferentes e o ponto preto representa a diluição do revestimento.

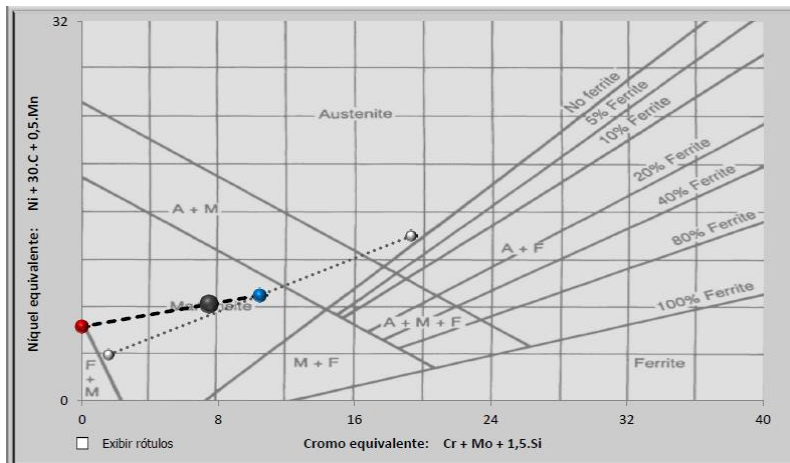


Figura 10. Resultado da simulação para o revestimento 2

A simulação mostrou que o ponto azul representando o metal de solda resultante está localizado na região de martensita e, portanto, condiz com os resultados obtidos nas análises anteriores.

4. CONCLUSÃO

As conclusões obtidas para este trabalho restringem-se aos materiais ensaiados, não podendo extrapolar para outros pares de ligas empregados na soldagem com o processo MIG/MAG com Duplo Arame.

Com todas as análises feitas, conclui-se que a microestrutura encontrada em todos os revestimentos foi homogênea e predominantemente martensítica. Tanto através da planilha desenvolvida como por caracterização microestrutural as regiões do metal de solda estudadas na soldagem dos revestimentos não apresentaram variação microestrutural significativa. Pela análise de composição química em linha do metal de solda pode-se afirmar que não houve variação de composição significativa, apresentando, assim, o mesmo perfil em todos os revestimentos. Os valores de microdureza obtidos seguiram um perfil estável, similar entre os perfis analisados e são compatíveis com a microestrutura martensítica, comprovando a homogeneidade do revestimento. A microdureza do metal de solda foi mais alta nos revestimentos de maior diluição e diminuiu nas amostras de menor valor de diluição.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Pesquisa e Tecnologia em Soldagem (LPTS) e ao Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAM) da Universidade Federal do Ceará pelo apoio laboratorial.

6. REFERÊNCIAS

- Callister Jr, W.D., 2002, "Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução", Ed. LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 589p.
- Colpaert, H., 2008, "Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns", Ed. Blucher, São Paulo, Brasil, 652p.
- Davis, J.R., 1994, "Stainless Steels", ASM International, Materials Park, Ohio, 584 p.
- DeLong, W.T., 1974, "Ferrite in austenitic stainless steel weld metal", Welding Journal, Vol. 53, No. 7, pp. 273s–286s.
- Garcia, D.N., 2001, "Soldagem MIG com Arame Frio Aplicada ao Revestimento de Chapas Planas com uma Superliga de Níquel tipo Hastelloy C-276", Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, 124p.
- González, A.M.R. e Dutra, J.C., 1999, "Análise e Desenvolvimento do Processo MIG/MAG com Duplo Arame", LABSOLDA, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
- Disponível em: http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_concluidos/duplo_ar.php
- Kotecki, D.J. and Siewert, T.A., 1992, "Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metals: A Modification of the WRC-1988 Diagram", WRC Bulletin, No. 370, pp. 8.
- Lampman, S., 1997, "Weld Integrity and Performance: A Source Book Adapted from ASM International Handbooks, Conference Proceedings, and Technical Books", ASM International, 417p.

- Mougo, A.L., 2012, “Aspectos Metalúrgicos da Soldagem MIG e MIG Derivativa com Arame Frio em Revestimento de Chapas Planas de Aço Carbono Utilizando uma Superliga de Níquel”, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, 112p.
- Ponomarev, V. e Scotti, A., 2008, “Soldagem MIG/MAG: Melhor Entendimento, Melhor Desempenho”, Ed. Artliber, São Paulo, Brasil, 284 p.
- Schaeffler, A.L., 1949, “Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metal”, Metal Progress, Vol. 56, No. 11, pp. 680–680B.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores Marcelo Degani Prata, Marcelo Ferreira Motta, Ana Cláudia Rodrigues Silva, Madson Germano Unias e Silva, Igor Paulino Fernandes, Liana da Silva Moreira, Hélio Cordeiro de Miranda e Cleiton Carvalho e Silva são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY ABOUT THE HOMOGENEITY OF WELDING OVERLAYS WELDED BY MIG/MAG DOUBLE WIRE PROCESS AND THE USE OF SCHAFFLER AND DELONG DIAGRAMS

Marcelo Degani Prata, marcelodegani22@gmail.com¹
Marcelo Ferreira Motta, marcelof@ufc.br¹
Ana Cláudia Rodrigues Silva, anaclaudia@alu.ufc.br¹
Madson Germano Unias e Silva, madson.br@gmail.com¹
Igor Paulino Fernandes, igor.engmet@outlook.com¹
Liana da Silva Moreira, lianajouli@hotmail.com¹
Hélio Cordeiro de Miranda, hmiranda@ufc.br¹
Cleiton Carvalho e Silva, cleitonufc@yahoo.com.br¹

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Laboratório de Pesquisa e Tecnologia em Soldagem, Fortaleza-Ceará

Abstract: Welding overlays are used by the oil and gas industry to manufacture and repair equipments. The use of welding processes that perform welding in less time without losing the quality of the overlays is of great interest of the industries, because it is possible to save money during the manufacture of the products. Researches about new materials which can provide longer life for the equipments are also being performed by welding researchers. This work has the purpose of evaluating the metallurgical characteristics of overlays welded by the MIG/MAG double wire process using different materials, stainless steel (AWS 5.9 ER 307) and low carbon steel (AWS 5.18 ER80S-D2), to observe if the microstructure is homogeneous or not. It was already identified that the use of different materials with different mechanical and chemical properties in welding processes can create a material with properties and composition with characteristics of the two former materials. The welding overlays were welded with two different levels of overlays and three different feed speeds of the wires. The power source operated with constant voltage, the welding speed of 60 cm/min was used and a mixture of argon and 25% of carbon dioxide was chosen as shielding gas. The width, the thickness and the dilution of the weld beads were measured. After that four different welding overlays types were chosen to be analyzed. Computer simulations based on Schaeffler Diagram and Delong Diagram were performed using a computer program developed to predict the microstructure of the overlays. The analysis of the microstructures were performed using an optical microscope and a scanning electron microscope. The evaluation of the mechanical properties were obtained by Vickers microhardness test. The microstructure found in all overlays was martensite, which was also predicted by the computer simulations.

Keywords: MIG/MAG double wire, overlays, martensite, Schaeffler and Delong Diagrams