



CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E METALÚRGICA DE JUNTAS DISSIMILARES DE METAIS ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA¹

Vagner Machado Costa² Jefferson Haag³ Bill Paiva dos Santos³ Gabriel Cogo⁴ Cleber Rodrigo de Lima Lessa⁵ Telmo Roberto Strohaecker⁶

Resumo

Este trabalho visa uma caracterização mecânica e metalúrgica de juntas de materiais dissimilares unidos através do processo de soldagem ao arco elétrico com gás de proteção, também chamado GMAW (*Gás-Metal Arc Welding*). Os materiais das chapas soldadas foram o Domex 700 e LN 380 com 8 mm de espessura, ambos pertencentes à classe de metais de alta resistência e baixa liga (ARBL). As chapas foram unidas usando dois tipos de arame de deposição: ER 70S-6 e ER 80S-G. A caracterização mecânica foi realizada através de ensaios de tração, tanto nos metais de base quanto nas juntas soldadas, e perfis de microdureza Vickers, enquanto que a caracterização metalúrgica foi realizada pelas análises químicas dos metais de base e dos arames de deposição e metalográfica (macrografias e micrografias). Embora a resistência mecânica do arame ER 80S-G seja maior que o arame ER 70S-6, este fato não resultou em nenhuma diferença entre eles a partir dos ensaios realizados neste trabalho.

Palavras-chave: Caracterização; Junta soldada; Dissimilar; Aço alta resistência baixa liga.

METALLURGICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF DISSIMILAR JOINTS OF HIGH STRENGTH LOW STEEL

Abstract

This work aims the mechanical and metallurgical characterization of dissimilar welded joints by using GMAW (Gas-Metal Arc Welding) to weld. The base materials used were two kinds of HSLA plates named Domex 700 and LN 380 with 8 mm of thickness each one. As filler material two different welding wires were used: ER 70 S-6 and ER 80 S-G. Tensile test and the hardness test have been done for all the samples to characterize the base material as well as the welded joints. The analysis such as chemical composition of base material and welding wires, metallography (macrographs and micrograph) have been done to characterize the samples. Although the mechanic resistant of ER 80S-G wire is better than ER 70S-6 this fact didn't result any difference between the wires used in this work considering the tests made.

Key words: Characterization; Welding joint; Dissimilar; High strength low steel.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Mestrando em Ciências dos Materiais, PPG3M, UFRGS, Laboratório Lamef-Grupo GEM, Brasil.

³ Acadêmico em Engenharia Metalúrgica, Laboratório de Metalurgia Física, UFRGS, Brasil.

⁴ Mestrando em Ciências dos Materiais, PPG3M, UFRGS, Laboratório Lamef-Grupo GAF, Brasil.

⁵ Professor MSc., Engenheiro Metalúrgico, Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

⁶ Professor Doutor, Engenheiro Metalúrgico, Laboratório de Metalurgia Física, UFRGS, Brasil.





1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais as indústrias dos setores automotivos e de implementos rodoviários estão em constante evolução, o que as leva buscar cada vez mais materiais de alta qualidade metalúrgica para redução de peso, ganho de desempenho e segurança dos produtos produzidos. Logo, a utilização de aços ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga) está sendo vista como um importante aliado para alcançar esses objetivos, pois por possuir alta resistência pode-se diminuir a espessura utilizada e, assim, diminuir o peso final do produto. Este tipo de aço também possui boa conformabilidade e soldabilidade, fatores importantes na manufatura do produto. Em certas situações o uso de materiais dissimilares na fabricação de um determinado produto se faz necessário, pelo fato da combinação de propriedades de diferentes materiais ou simplesmente para redução de custo. Logo, o entendimento dos fatores que possam interferir na qualidade do produto final é importante para o seu correto desenvolvimento. Partindo desta ideia, este trabalho tem o objetivo de caracterizar mecânica e metalurgicamente juntas soldadas com aços ARBL utilizando diferentes arames de deposição.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisados os materiais LN 380 da Usiminas e Domex 700 fabricado pela SSAB. Utilizou-se 4 chapas (2 chapas para cada tipo de material) com 300 mm de comprimento (direção de laminação), 1.300 mm de largura e 8 mm de espessura. Ambas as chapas pertencem ao grupo de materiais ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga).

As chapas foram chanfradas e ponteadas para evitar o efeito da distorção durante o processo de soldagem mecanizado MAG. Utilizou-se como proteção gasosa do arco uma mistura de 80% Argônio e 20% CO₂ com vazão de 15 L/min. Utilizou-se polaridade positiva com corrente continua de 150 A e tensão de 28,8 V com uma velocidade de soldagem de 400 mm/min. A distância do bico à peça foi mantido em 15 mm.



Figura 1. Desenho dos chanfros realizados.

Neste trabalho foram utilizados os arames sólidos ER 70S-6 e ER 80S-G da fabricante ESAB com 1,2 mm de diâmetro para realizar a união das chapas dissimilares.

Foi realizada análise química para determinação da composição das chapas de aço e dos arames de deposição usados neste trabalho.





As amostras referentes à deposição com diferentes arames foram cortadas no sentido transversal ao cordão de solda e embutidas a frio para análise metalográfica seguindo a norma ASTM E3-95.⁽¹⁾ Após esta etapa as amostras foram atacadas com Nital 5% e Nital 2% para caracterização macrográfica e micrográfica, respectivamente. Posteriormente, utilizando-se as mesmas amostras, foram realizados os perfis de microdureza Vickers nos sentidos mostrados na Figura 2. Aplicou-se 300 g de carga sobre a superfície da amostra durante 10 segundos. A distância entre as indentações foram de 0,2 mm. Não foi realizado um perfil de microdureza na região inferior devido ao fato de terem sido utilizados os mesmos parâmetros e procedimentos de soldagem em ambas as amostras. Logo, o perfil superior apresentaria similar resultado ao perfil inferior.



Sentido de medição

Figura 2. Desenho esquemático das linhas onde foram realizados os perfis de microdureza.

Os corpos de prova para ensaio de tração foram inicialmente cortados em uma serra fita com as dimensões próximas das dimensões finais e após esta etapa eles foram usinados numa fresadora CNC. Os corpos de prova utilizados para ensaio do metal base foram preparados conforme a norma NBR ISO 6892.⁽²⁾ Entretanto, os corpos de prova usinados para ensaio da junta soldada seguem a norma ASME IX 150/160.⁽³⁾

3 RESULTADOS

3.1 Análise Química

Tabela 1. Resultado da composição química das chapas analisadas									
Elemento Químico	%C	% Si	% Mn	% P	% S	% Al	% Nb	% V	% Ti
Domex 700	0,0655	0,0584	2,01	0,0121	0,00180	0,0377	0,0602	0,0140	0,107
LN 380	0,0906	0,0220	0,991	0,0223	0,00450	0,0522	0,0321	-	0,001

 Tabela 1. Resultado da composição química das chapas analisadas

Comparando a Tabela 1 com os valores máximos fornecidos pelas fabricantes, foi observado que todos os elementos químicos estão dentro dos limites de composição química estabelecidos pela norma de fabricação do material, ou seja, não aparece nenhum elemento fora do especificado que possa interferir na microestrutura da junta soldada.

Foi visto que a concentração de Nb, V e Ti no Domex 700 apresentou-se superior quando comparado com o LN 380. Estes elementos atuam como refinadores de grão, além de formar carbonetos e nitretos propiciando melhores propriedades mecânicas ao Domex 700 em relação ao LN 380.



Tabela 2. Resultado da composição química dos arames analisados						
Elemento Químico	%C	% Si	% Mn	%Mo	% Cr	
ER 70S-6	0,107	0,568	1,21	-	0,0206	
ER 80S-G	0,0950	0,516	1,00	<0,005	0,0383	

A composição química do arame ER 70S-6 apresentou apenas o carbono fora dos valores estabelecido pelo fabricante, enquanto que o arame ER80S-G apresentou todos os elementos dentro dos valores fornecidos, porém a porcentagem de Mo se encontra muito abaixo do esperado.

3.2 Macrografia

A macrografia da Figura 3a, a qual a junta foi soldada utilizando o arame ER 70S-6, mostra que houve penetração total e assim garantindo as propriedades mecânicas da junta soldada. Entretanto, na macrografia da Figura 3b, onde foi utilizado o arame ER 80S-G para deposição, foi observado à ocorrência de um desalinhamento entre os cordões de solda, gerando falta de penetração total da junta. O defeito da falta de penetração está ilustrado na Figura 3b através de uma elipse. As linhas transversais preta em ambas as macrografias foram colocadas para melhor visualização do desalinhamento que ocorreu na macrografia da Figura 3b.

Na junta soldada utilizando o arame ER 80S-G também foi observado um reforço excessivo do cordão de solda na parte inferior da imagem (que corresponde ao segundo passe de solda). Este reforço excessivo quando observado na prática, pode ser um concentrador de tensões e assim contribuir para uma possível falha da junta em serviço. Nesta mesma macrografia visualiza-se uma linha de segregação na parte central da chapa Domex 700. Esta linha de segregação talvez possa vir a interferir nas propriedades mecânicas do aço.

Em ambas as macrografias, foram vistos o crescimento epitaxial do metal de solda a partir do metal base.



Figura 3. Macrografia (a) referente à junta soldada com o arame ER 70S-6. Macrografia; e (b) mostra a junta unida com o arame ER 80S-G.

3.3 Micrografia

Na Figura 4a, observa-se a microestrutura do metal base Domex 700. Esta microestrutura é composta basicamente por precipitados e por grãos irregulares finos de ferrita alongados na direção de laminação, devido ao processo termomecânico que este material é submetido. A identificação dos precipitados





presentes se torna difícil, devido ao ataque realizado, porém nota-se a presença de precipitados de nitreto de titânio e uma pequena quantidade de perlita (região escura) na matriz. O metal base LN 380 (Figura 4b) caracteriza-se microestruturalmente por apresentar grãos finos e alongados na direção de laminação. Nota-se a maior presença de perlita (região escura) em comparação ao Domex 700.



Figura 4. Microestrutura do metal base (a) Domex 700; e (b) LN 380. 500X.

A Figura 5 apresenta a região de refino de grão da zona termicamente afetada. Percebe-se que os grãos de ferrita são mais refinados e menos irregulares quando comparado à estrutura do metal base.



Figura 5. Microestrutura da ZAC (a) do Domex 700; e (b) LN 380. 500X.

As metalografias da Figura 6 mostram as microestruturas formadas no metal de solda. Embora se tenha utilizado dois tipos de arames de deposição, a microestrutura encontrada em ambas as amostras foram similares. Basicamente, encontrou-se três tipos diferentes de formação de ferrita na microestrutura: ferrita acicular, ferrita de segunda fase alinhada (ou ferrita de *Widmanstatten*) e ferrita de contorno de grão.







Figura 6. Microestruturas do metal de adição. 200X

A Figura 7 mostra o encontro dos cordões de solda que ocorreu nas chapas soldadas com o arame ER 70S-6. Na região destacada com a elipse, ocorreu o efeito da soldagem multipasse, onde o calor do passe anterior normaliza a estrutura anterior solidificada e assim refinando os grãos. Isso ocorre, pois a temperatura de reaquecimento supera a temperatura crítica de recristalização.



Figura 7. Encontros dos cordões de solda (50X).

3.4 Perfil de Microdureza

Os resultados obtidos nos perfis de microdureza das juntas dissimilares soldadas com arame ER 70S-6 e ER 80S-G, podem ser vistos respectivamente nas Figuras 8 e 9.





RE = Região de encontro dos cordões de solda.



Figura 8. Perfis de microdureza para as chapas soldadas com o arame ER 70S-6.

Figura 9. Perfis de microdureza para as chapas soldadas com o arame ER 80S-G.

Na Figura 9 o gráfico referente à região horizontal central mostra um gráfico irregular na região do metal de adição. Isso se deve ao fato de que naquela região não houve o encontro dos cordões de solda, havendo assim interferência dos metais base na medição da dureza.

ISSN 1516-392X

11

3.5 Ensaios de Tração

Os resultados obtidos nos ensaios de tração para o Domex 700 e LN 380 encontraram-se dentro do especificado pelas fabricantes.

Tabela 3. Resultado dos ensaios de tração						
Material	Tensão de escoamento (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)			
DOMEX 700	760	832	24			
LN 380	401	486	36			

Figura 10. Gráfico resultante do ensaio de tração (a) Domex 700; e (b) LN 380.

A Tabela 4 apresenta a média dos resultados obtidos nos ensaios de tração das juntas soldadas com os diferentes arames de deposição. Todos os corpos de prova, indiferente dos arames utilizados, romperam no metal base LN 380. Este resultado pode ser resultado do *overmatching* dos arames de deposição em relação ao metal

base LN 380, ou seja, a resistência à tração dos arames utilizados é superior à resistência do LN 380.

Propriedade		Limite de	Limite de	Alongamento	
		Escoamento	Resistência	percentual	
		(MPa) (MPa)		(%)	
-	Junta ER 70S-6	411,9	510,8	17,546	
	Junta ER 80S-G	394,5	502	17,7	

Tabela 4.	Resultado do	o ensaio de tra	cão das iuntas	s soldadas com	diferentes arames
	rtcounduo ut		çuo duo juniuc	500000000000000000000000000000000000000	

4 DISCUSSÃO

4.1 Análise Química

As amostras para análise química dos metais base foram retiradas antes do processo de soldagem. Para analisar quimicamente os arames utilizados neste trabalho, se depositou quatro camadas de metal de solda sobre uma chapa de aço. As camadas foram feitas no sentido horizontal e vertical intercalando-se entre si. O objetivo deste procedimento é evitar o efeito da diluição do metal base com o metal de solda, que ocasionaria um erro na análise química dos arames.

Ambos os arames apresentam quantidade significativa de Ni e Cu. Elementos que, respectivamente, aumentam a resistência mecânica e dureza da ferrita e fornece resistência a corrosão atmosférica.⁽⁴⁾

4.2 Caracterização Metalográfica

A mais provável explicação para o problema de falta de penetração e desalinhamentos dos cordões de solda, identificados na macrografia, seria à falha operacional do soldador no momento de alinhar o dispositivo mecânico que realizou a soldagem. Provavelmente ocorreu o mau posicionamento da tocha em relação às chapas. Nesta mesma macrografia, observou-se uma linha de segregação na região central da chapa Domex 700, possivelmente proveniente das condições peculiares de solidificação do semiproduto que lhe deu origem.⁽⁵⁾

Nas macrografias, é possível visualizar o crescimento epitaxial do metal de solda a partir do metal base. Segundo Savage,⁽⁶⁾ em estudos realizados, os grãos na zona de fusão se formam como um prolongamento dos grãos do metal base sem a necessidade da nucleação de novos grãos.

A região da ZAC de ambas a juntas soldadas apresentam grãos mais regulares, pois o ciclo térmico foi suficiente para causar a recristalização do material, ou seja, passando de uma estrutura deformada para uma isenta de deformação.^(7,8)

4.3 Perfil de Microdureza

A dureza do material Domex 700 decresce quando entra na ZAC e tem um pico de dureza ao sair desta mesma região. Segundo Ivarson,⁽⁹⁾ em trabalho similar realizado, o decréscimo da dureza do Domex 700 tem haver com o efeito do revenido ao qual o material é submetido após a soldagem e o pico de dureza da ZAC está relacionado com a microestrutura presente naquela região, isto é, grãos grosseiros e martensita.

Devido aos elementos de liga presentes no arame ER 80S-G, sua dureza é um pouco mais elevada comparada com o outro arame utilizado, mas nada muito

significativo. Ambos os arames estão em situação de undermacthing em relação ao Domex 700 e *overmacthing* em relação ao LN 380.

4.4 Ensaios de Tração

Embora as juntas tenham rompido no metal base LN 380 os valores referentes ao limite de resistência e alongamento diferem dos resultados obtidos no ensaio do metal base. Esta diferença nos valores obtidos pode ser resultado da complexidade que a junta soldada apresenta. Mesmo o material mais dúctil (metal de solda unido ao Domex) acaba apresentando uma restrição à deformação plástica, devido a maior resistência do metal base.

5 CONCLUSÃO

Não se observou mudanças na ZAC proveniente dos diferentes arames utilizados para união dos materiais a partir da caracterização microestrutural efetuada.

Analisando os perfis de microdureza ficou evidente a influência do undermacthing dos arames utilizados em relação à chapa Domex 700. Percebe-se a diminuição da dureza partindo do metal de adição, passando pela ZAC e chegando ao metal base LN 380 em ambos os perfis realizados. Esse resultado mostra o *overmacthing* dos consumíveis em relação ao LN 380.

Embora a junta soldada com o arame ER 80S-G tenha apresentado falta de penetração, este defeito não refletiu nos ensaio de tração da junta, pois todos os corpos de prova romperam no metal base LN 380.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Lamef pelo apoio técnico e a empresa Randon Implementos pela doação das amostras.

REFERÊNCIAS

- 1 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E3-95: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens. West Conshohocken, PA, 1993.
- 2 NORMA BRASILEIRA NBR ISO 6892 Materiais metálicos: Ensaio de Tração à temperatura ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- 3 AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME IX 150/160: Welding Qualifications. Canada, 2001.
- 4 SOUZA, S. A. Composição Química dos Aços-1ed. São Paulo-Editora Edgard Blucher, 1989.
- 5 OGATA, P. H. Caracterização Microestrutural ao Longo da Espessura de Chapa Grossa de Aço Microligado para Tubos API 5L-X65- 64° Congresso Anual da ABM-Belo Horizonte,MG,2009.
- 6 SAVAGE, W.F, LUNDIN. C.D, ARONSON, H. Weld metal solidification mechanics, Welding Journal, 1965, p. 175-181.
- 7 MODENESI, P.J; MARQUES, P.V; BRACARENSE, A.Q. Soldagem: Fundamentos e Tecnologia -3ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.
- 8 PLAUT, R. L. Estudo das Propriedades Mecânicas do Aço API X70 Produzido por Laminação Controlada - Tecnol. Metal. Miner.. São Paulo. Vol. 6 p. 7-12, jul.-set. 2009.
- 9 IVARSON,A. MAG Welding of Domex 700 MC to Docol 1000DP Technical Report of SSAB, 2011.