

INFLUÊNCIA DO GÁS DE PROTEÇÃO NA MICROESTRUTURA DO METAL DE SOLDA DO AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO

Demostenes Ferreira Filho

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, MG, Brasil
demostenes@mecanica.ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

valtairf@mecanica.ufu.br

Resumo: Até pouco tempo o aço inoxidável ferrítico era soldado somente com arames inoxidáveis austeníticos, como por exemplo o AWS ER 308LSi e 307Si, para ter uma boa qualidade na solda. Arames de aço inoxidável ferrítico estabilizados (por exemplo, o 430Ti, 430LNb e 409Nb) estão sendo desenvolvidos para dar uma boa qualidade para a solda destes materiais, possuindo ainda um menor custo. Mas, é necessário realizar um estudo na influência do gás de proteção nesses tipos de arames. O objetivo deste trabalho é estudar a influência da composição do gás de proteção (argônio puro e misturas com oxigênio ou dióxido de carbono) na microestrutura de soldas realizadas por curto-circuito, pelo processo MIG/MAG do aço inoxidável ferrítico. Foram realizados testes com seis composições de gás de proteção e três arames (ER430, ER430Ti e ER430LNb) mantendo a mesma corrente média de soldagem e a mesma quantidade de metal depositado em chapas do aço inoxidável ferrítico UNS43932. Os resultados mostraram que o aumento da quantidade de oxigênio ou dióxido de carbono no gás de proteção aumenta a quantidade de martensita para os arames ER430 e ER430Ti, mas independente do gás utilizado não há formação de martensita quando utilizou-se o arame ER430LNb.

Palavras-chave: aço inoxidável ferrítico, gás de proteção, microestrutura, MIG/MAG, curto-circuito.

1. INTRODUÇÃO

Aços inoxidáveis ferríticos são ligas de ferro-cromo com estruturas cúbicas de corpo centrado, predominantemente ferríticas em qualquer temperatura até a sua fusão. Tem entre 12 e 30% de cromo e um baixo teor de carbono, em geral inferior a 0,1%. A fase ferrítica pode conter muito pouco carbono e nitrogênio (elementos intersticiais) em solução, estes ficam principalmente na forma de precipitados (em geral, carbonetos e nitretos de cromo) (KOTECKI, 1999).

Uma liga Fe-17%Cr, com teores de carbono e nitrogênio suficientemente baixos para permitir uma estrutura totalmente ferrítica, quando aquecida a temperaturas superiores a 1150°C, sofrerá um acentuado crescimento de grão, e todo carbono e nitrogênio ficarão em solução sólida. Entretanto, com o resfriamento, a solubilidade do carbono e nitrogênio na matriz α diminui, e ocorre a precipitação de carbonetos e nitretos de cromo, principalmente nos contornos de grão. Essa precipitação de carbonetos e nitretos intergranulares, além de prejudicar as propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis ferríticos, devido à perda da tenacidade do material, torna estes aços susceptíveis à corrosão intergranular (PIRES; FALLEIROS, 2002).

Em temperaturas muitas elevadas, acima de 1200°C, o aço inoxidável ferrítico tende a apresentar uma estrutura monofásica, completamente ferrítica. Nestas condições, a elevada mobilidade atômica da estrutura ferrítica a altas temperaturas e a ausência de partículas capazes de ancorar os contornos de grão possibilita um crescimento de grão extremamente rápido. Este crescimento tende a ser menor em aços estabilizados ao nióbio ou titânio (MODENESI, 2001).

Em geral os aços inoxidáveis ferríticos apresentam uma baixa soldabilidade (comparados com os austeníticos), pois a sua solda é caracterizada por ductilidade e tenacidade baixas além de sensibilidade à corrosão intergranular. Além disso, existe a formação de grãos grosseiros. A adição de elementos como o titânio, cobre e alumínio no processo de soldagem realiza um refino de grão no metal soldado (J REDDY; MOHANDAS, 2001).

As propriedades mecânicas da solda de um aço inoxidável ferrítico estão relacionadas à microestrutura obtida (presença de uma estrutura martensítica), um controle ruim desta microestrutura pode limitar sua aplicação (BALMFORTH; LIPPOLD, 2000).

Na soldagem MIG/MAG de aço inoxidável é recomendado como gás de proteção o Argônio puro ou misturado com pequenas porcentagens de oxigênio ou dióxido de carbono (LYTTLE; STAPON, 1990). O Argônio (Ar) é um gás inerte com baixo potencial de ionização, baixo potencial de oxidação e baixa condutividade térmica. De acordo com Dillenbeck; Castagno (1987), a alta densidade do argônio em comparação com os outros gases (1,38 em relação ao ar) promove uma maior eficiência de proteção, porque o argônio facilmente substitui o ar em torno da solda. Por ser um gás inerte a proteção à base de argônio promove retenção de elementos de liga no cordão de solda, deixando o cordão de solda livre de inclusões, melhorando as propriedades mecânicas. Além disso, facilita a abertura do arco, melhora a estabilidade em baixas correntes, além de permitir transferência "spray".

O gás oxigênio (O₂) é oxidante que na mistura com argônio suaviza o perfil do cordão de solda, melhorando a qualidade do cordão, principalmente a molhabilidade da poça de fusão, pela diminuição da tensão superficial no contato poça fundida/metal de base e pela estabilização da posição da raiz do arco (JÖNSSON et al, 1995). A adição de pequenas quantidades O₂ ao argônio (até 5% de O₂) tem influência sobre a coluna do arco reduzindo a corrente de transição globular/"spray". Quando o nível de oxigênio aumenta na mistura, aumentam também as perdas de elementos de liga, podendo deteriorar as propriedades mecânicas (CEDRÉ et al, 2006).

O dióxido de carbono (CO₂) é o mais barato entre os tipos de gases de proteção de solda e mais utilizado na soldagem MIG/MAG em aço com transferência por curto-circuito. O CO₂ se dissocia no arco para formar CO e O e o efeito global é o de gerar uma proteção oxidante. Exibe características de gás inerte em temperatura ambiente, não reagindo com outros elementos, mas é um gás ativo nas temperaturas de soldagem (LYTTLE; STAPON, 1990). Sua alta condutividade térmica é responsável por uma alta transferência de calor para o metal de base. Um padrão de penetração mais largo e arredondado é obtido quando se compara com o argônio.

Strassburg (1976) comenta que um o aumento na proporção de elementos oxidantes no gás de proteção aumenta as perdas de manganês, cromo, nióbio. As perdas por oxidação podem ser de 0,3% para manganês e cromo e cerca de 0,1% para silício e nióbio, quando o teor de oxigênio no gás é menor que 30%. O carbono é oxidado para volume menor somente para teor de oxigênio menor que 10%.

O dióxido de carbono, no gás de proteção, resulta na inclusão de carbono, bem como, uma oxidação do metal depositado. Uma desvantagem da inclusão de carbono, é que o teor de ferrita no metal depositado, pode decrescer, uma vez que o carbono é forte formador de austenita (LUNDQVIST, 1980).

Liao; Chen (1998) realizaram um estudo avaliando as propriedades mecânicas assim como as microestruturas com a mudança do gás de proteção (argônio puro e misturas de argônio com oxigênio e/ou dióxido de carbono) para aços inoxidáveis austeníticos, onde observaram mudanças significativas, tanto na microestrutura, quanto nas propriedades mecânicas.

O objetivo deste trabalho é estudar a influência de algumas composições de gás de proteção (argônio puro e misturas com oxigênio ou dióxido de carbono) na microestrutura da solda utilizando transferência metálica por curto-circuito na soldagem MIG/MAG com arames eletrodos ER430, ER430Ti e ER430LNb.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do procedimento experimental foram utilizados os seguintes equipamentos: fonte de soldagem multiprocesso; mesa de coordenada com movimentação automática da tocha; um sistema de aquisição de corrente e tensão de soldagem, espectrômetro de emissão óptica para medição da composição química, sistema para determinação das microestruturas e sistemas para a medição de microdureza.

Para comparar a influência do gás de proteção na qualidade do cordão de solda (tanto em termo de aspecto, metalurgia e resistência mecânica) é necessário encontrar uma condição de soldagem que seja a melhor possível para todos os tipos de gás de proteção. A busca destes parâmetros torna um pouco complexo em função da quantidade de variáveis envolvida no processo de soldagem, sendo necessário contar com algumas considerações. É importante ter sempre a mesma corrente de soldagem, mesma taxa de deposição (ter um valor constante entre a velocidade de alimentação do arame eletrodo e a velocidade de soldagem) e se possível ter sempre a mesma energia depositada no cordão de solda para todos os gases de proteção utilizada. É importante também obter sempre uma transferência metálica estável para a condição encontrada. Para alcançar este objetivo baseou-se em parâmetros obtidos por Ferreira et al (2007), como pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros utilizados no trabalho

Gás de Proteção	Vazão [L/min]	Tensão [V]	VALIM ER430 [m/min]	V _{ALIM} ER430Ti e ER430LNb [m/min]	V _{SOLD} [cm/min]	DBCP ER430 [mm]	DBCP ER430Ti [mm]	DBCP ER430LNb [mm]
Ar	14	20	5,3	7,6	20	12	12	10
Ar + 2% O ₂	14	20	5,3	7,6	20	15	14	12
Ar + 4% O ₂	14	20	5,3	7,6	20	17	14	12
Ar + 2% CO ₂	14	20	5,3	7,6	20	14	14	11
Ar + 4% CO ₂	14	20	5,3	7,6	20	15	13	10
Ar + 8% CO ₂	14	20	5,3	7,6	20	16	13	12

Foram utilizados neste trabalho os arames-eletrodos ER430, ER430Ti e ER430LNb, sendo que o primeiro possuía diâmetro de 1,2 mm e os demais 1,0 mm, soldando sobre deposição em uma chapa de aço inoxidável ferrítico bi-estabilizado UNS43932 e os seis tipos de gás de proteção (Ar; Ar+2%O₂; Ar+4%O₂; Ar+2%CO₂; Ar+4%CO₂ e Ar+8%CO₂). Fabricaram-se corpos de prova com três camadas depositadas “bead on plate”, para diminuir o efeito de diluição com o metal de base, realizando-se as análises de microestrutura no último cordão da última camada. O objetivo é comparar as microestruturas obtidas e observar se há uma limitação da quantidade de elementos oxidantes que se pode utilizar na soldagem do aço inoxidável ferrítico.

Tabela 2. Composição química dos materiais utilizados

Material	C	Cr	Mn	Mo	Nb	Ni	P	S	Si	Ti
ER430	0,076	16,5	0,308	-	-		0,025	0,011	0,43	0,002
ER430Ti	0,108	17,45	0,65	0,036	-	0,4	-	0,002	1,04	0,35
ER430LNb	0,027	17,66	0,425	0,034	0,44	0,215	-	0,004	0,43	0,004
UNS43932	0,01	17,128	0,143	-	0,201	0,178	0,023	0,003	0,403	0,198

3. RESULTADOS

3.1. Arame-eletrodo ER430

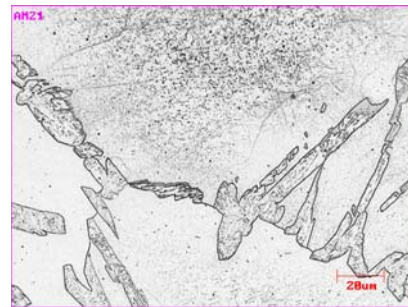
As Figuras 2 a 7 apresenta a microestrutura da zona fundida (centro do cordão) do corpo de prova para o eletrodo ER430 e respectivamente os gases de proteção Ar, Ar+2%O₂, Ar+4%O₂, Ar+2%CO₂, Ar+4%CO₂ e Ar+8%CO₂. As imagens foram realizadas por microscopia óptica onde (a) possui um aumento de 25X e (b) um aumento de 500X.

Analisando as Figura 2 a 7 observa-se grãos colunares, sendo uma matriz ferrítica com precipitações de martensita nos contornos de grãos. Observa-se também a presença de precipitados, com maior concentração no interior do grão. Este fato fica mais evidente na Figura 7 (b).

Com o aumento do teor de dióxido de carbono percebe-se que ocorre um aumento na quantidade de martensita de contorno de grãos, isto pode ser comprovado também pelo aumento do teor de carbono no cordão de solda. Modenesi (2001) cita que a presença de elementos gamagênicos, particularmente o carbono expande o campo de existência da austenita para maiores teores de cromo, podendo com isto sofrer transformação de ferrita em austenita, que nos resfriamento pode transformar em martensita. Quanto à quantidade de precipitados não é possível observar sem uma análise mais profunda.

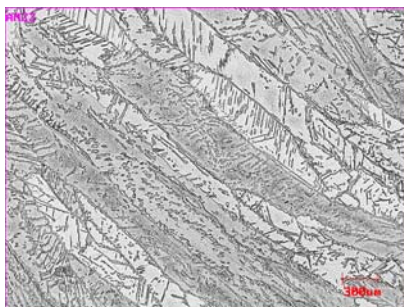


(a)

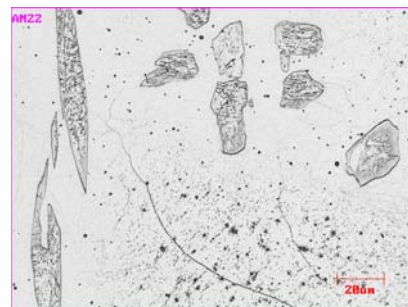


(b)

Figura 2. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar.

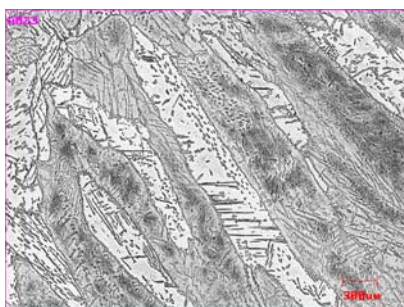


(a)

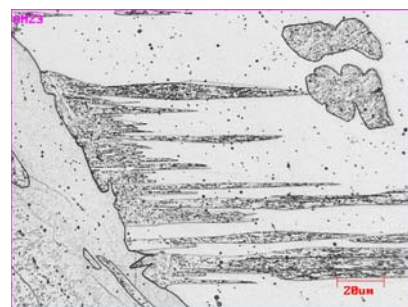


(b)

Figura 3. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+2%O₂.

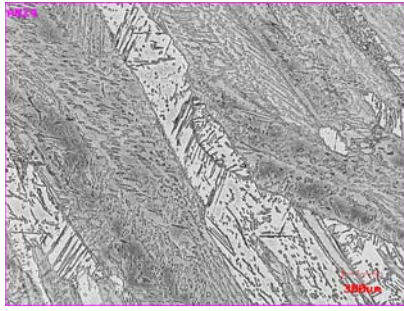


(a)

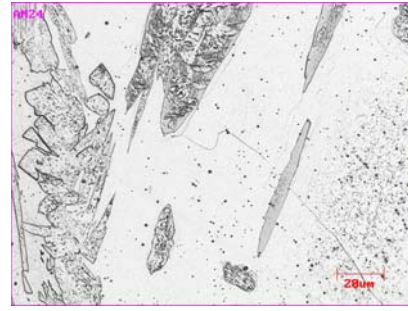


(b)

Figura 4. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+4%O₂.

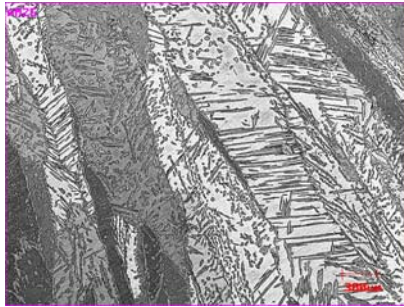


(a)

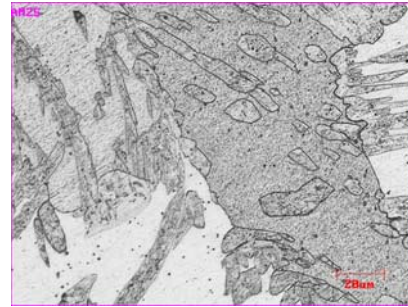


(b)

Figura 5. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+2%CO₂.

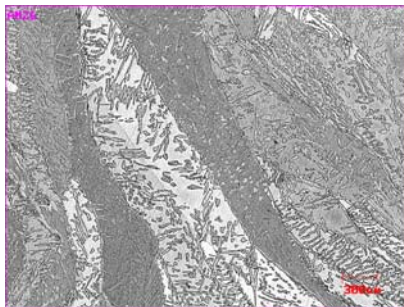


(a)

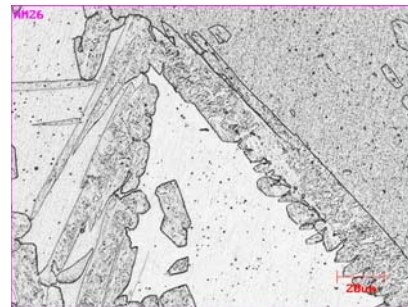


(b)

Figura 6. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+4%CO₂.



(a)



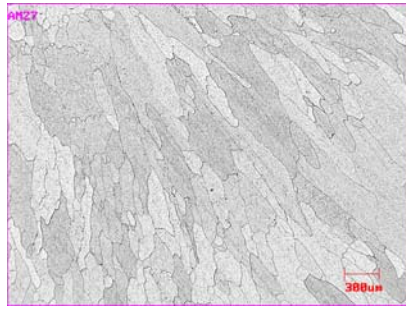
(b)

Figura 7. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+8%CO₂.

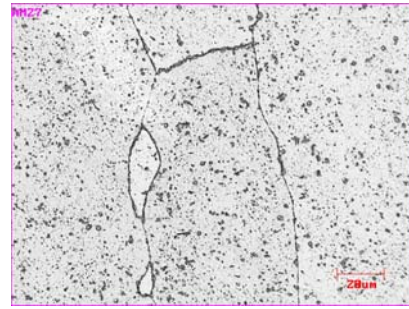
3.2. Microestrutura do arame ER430Ti

As Figuras 8 a 13 apresentam a microestrutura da zona fundida dos corpos de prova onde foi utilizado o eletrodo ER430Ti e respectivamente os gases de proteção Ar, Ar+2%O₂, Ar+4%O₂, Ar+2%CO₂, Ar+4%CO₂ e Ar+8%CO₂. As imagens foram realizadas por microscopia óptica onde (a) possui um aumento de 25X e (b) um aumento de 500X.

Analisando as Figura 8, 9 e 11 observa-se grãos colunares, sendo uma matriz ferrítica com precipitações tanto no interior quanto nos contornos de grãos. Já nas figuras 10, 12 e 13 nota-se uma matriz ferrítica, precipitados e estruturas martensíticas nos contornos de grão. A presença de martensita encontradas nas estruturas mencionadas acima deve-se provavelmente a baixa quantidade de titânio em relação ao carbono, não sendo, provavelmente, suficiente para estabilizar totalmente a solda. Comparando com o ER430 verifica-se que o tamanho de grão diminuiu com a presença do Ti no metal de adição.

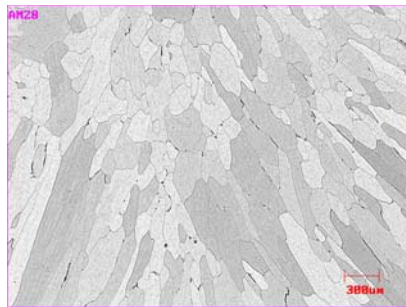


(a)

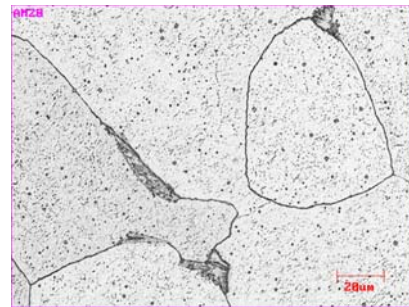


(b)

Figura 8. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar.

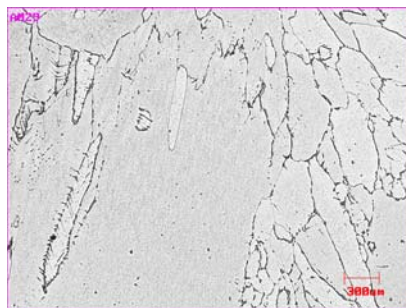


(a)

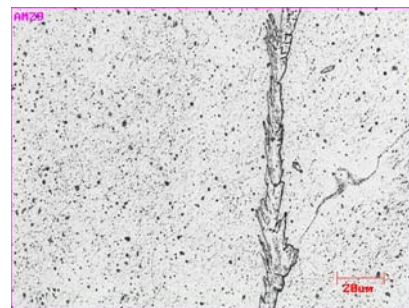


(b)

Figura 9. Microestrutura da ZF do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+2%O₂.

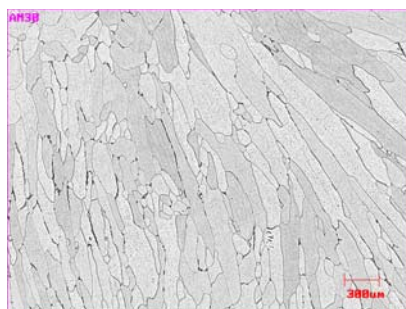


(a)

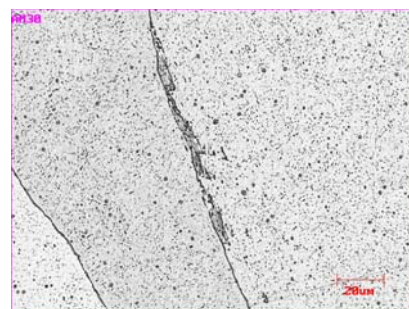


(b)

Figura 10. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+4%O₂.

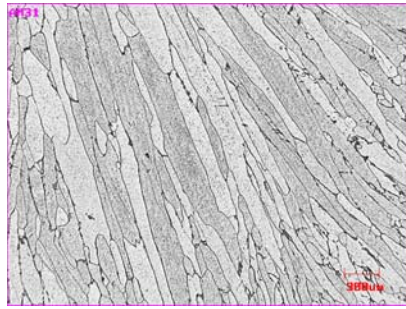


(a)

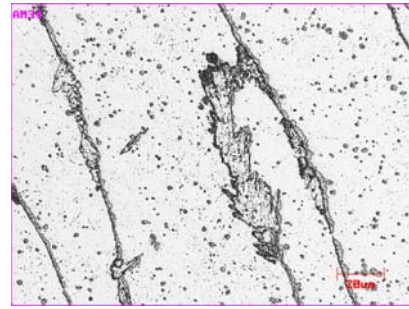


(b)

Figura 11. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+2%CO₂.

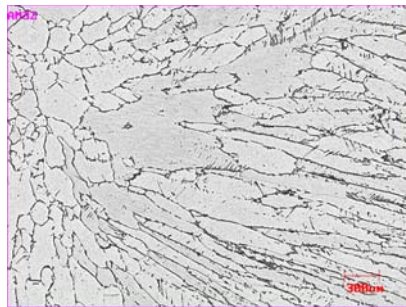


(a)



(b)

Figura 12. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+4%CO₂.



(a)



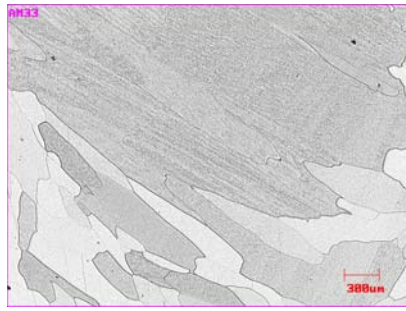
(b)

Figura 13. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+8%CO₂.

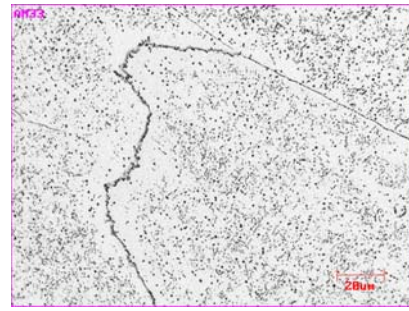
3.3. Microestrutura do arame ER430LNb

As Figuras 14 a 19 apresentam a microestrutura da zona fundida dos corpos de prova onde foram utilizados o eletrodo ER430LNb e respectivamente os gases de proteção Ar, Ar+2%O₂, Ar+4%O₂, Ar+2%CO₂, Ar+4%CO₂ e Ar+8%CO₂. As imagens foram realizadas por microscopia óptica onde (a) possui um aumento de 25X e (b) um aumento de 500X. Observa-se uma matriz ferrítica, com grãos colunares e grosseiros, este fato é devido a presença do nióbio, que retarda o crescimento de grão.

Observa-se que o arame eletrodo 430LNb não apresenta a formação de martensita para os tipos de gases de proteção utilizados neste trabalho. Entretanto a estrutura granular apresenta de uma forma mais grosseira que a do arame ER430Ti, mais próxima a do arame ER430. Modenesi (2001) cita que nos aços inoxidáveis ferríticos que contém nióbio, existe uma substituição de carbonetos e nitretos de cromo por carbonitretos de nióbio, que são mais estáveis, diminuindo o efeito austenitizante, independentemente da temperatura, reduzindo, portanto, a formação de martensita.

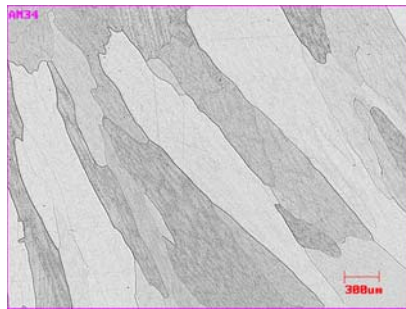


(a)

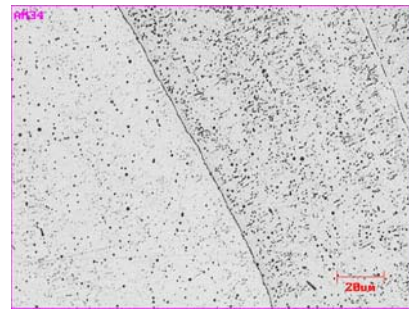


(b)

Figura 14. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar.

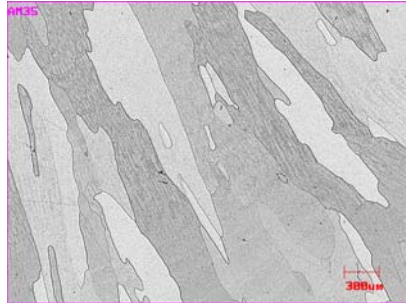


(a)

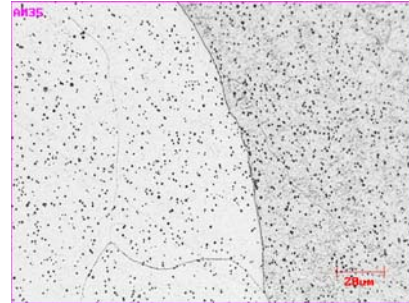


(b)

Figura 15. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+2%O₂.

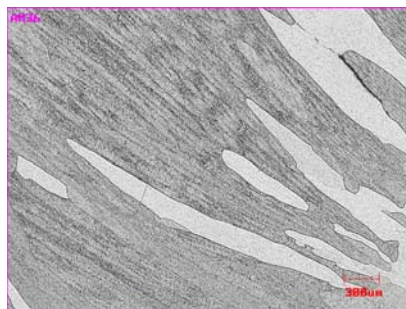


(a)

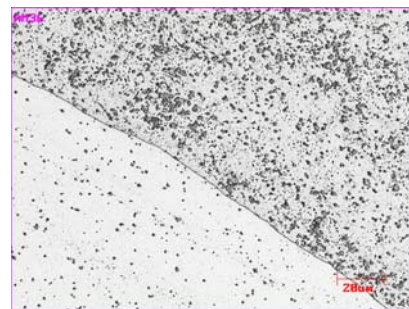


(b)

Figura 16. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+4%O₂.

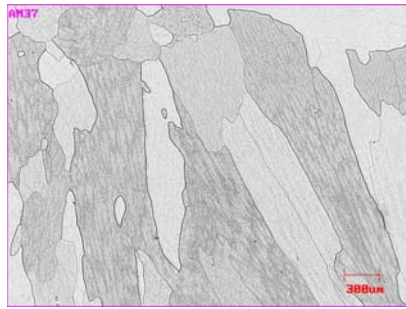


(a)

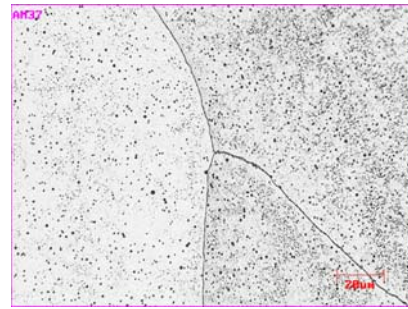


(b)

Figura 17. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+2%CO₂.

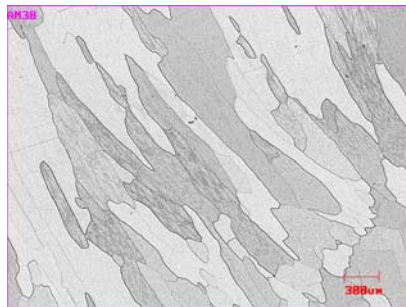


(a)

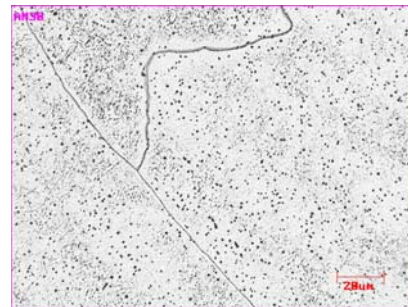


(b)

Figura 18. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+4%CO₂.



(a)



(b)

Figura 19. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+8%CO₂.

4. CONCLUSÕES

O arame ER430 gerou grãos grosseiros, formados por uma matriz ferrítica e com estruturas martensíticas independentemente do gás de proteção utilizado. O ER430Ti gerou grãos mais refinados, com formação de estruturas martensíticas para teores acima de 4% tanto para oxigênio quanto para o dióxido de carbono. O ER430LNb gerou novamente estruturas grosseiras, mas não gerou martensita independentemente do gás de proteção utilizado.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio a bolsa de estudo, a ACESITA pelo material, ao LAPROSOLDA/UFU pelo apoio laboratorial e a FEMEC/UFU pela oportunidade de realização do mestrado.

6. REFERÊNCIAS

- KOTECKI, D. Welding Stainless Steel. *Advanced Materials & Processes* 155, n. 5, p. 41-44, May 1999.
- PIRES, R. F., FALLEIROS, N. A., *Corrosão intergranular de aço inoxidável ferrítico: avaliação através de método eletroquímico*, São Paulo, 2002.
- MODENESI, P. J., *Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis*, Volume 1, SENAI, Osasco, 2001.
- REDDY, G. M.; MOHANDAS, T. Explorative studies on grain refinement of ferrítico stainless steel welds. *Journal of Materials Science Letters*, 20, p 721-723, 2001.
- BALMFORTH, M. C.; LIPPOLD, J. C. A New Ferritic-Martensitic Stainless Steel Constitution Diagram. *Welding Journal*, V. 79, n. 12, p. 339s-345s, Dec. 2000

- LYTTLE, K. A.; STAPON, F. G. Select the Best Shielding Gas Blend for the Application, Welding Journal, p 21 – 28, nov. 1990.
- DILLENBECK, V. R.; CASTAGNO, L. The Effects of Various Shielding Gases and Associated Mixtures in GMA Welding of Mild Steel, Welding Journal, pp 45-49 set. 1987.
- JÖNSSON, P. G., MURPHY, A. B. and SZEKELY, J. Oxygen Additions on Argon-Shielded Gas Metal Arc Welding Processes, Welding Research Supplement - Welding Journal, V. 74, N. 2, p. 48-s 58-s, fev. 1995.
- CEDRÉ, E. D.; MORALES, F. R.; RICO, M. T.; CRESPO, A. C.; PÉREZ, M. R.; MÉNDEZ, T. M. O.; MOREJÓN, J. A. P. Disminución del Nivel de Salpicadura en las Soldadura GMAW con la Utilización de Mezclas de CO₂+O₂ como Gas de Protección. Soldagem Inspeção, V. 11, N. 1, p. 34-38, Jan/Mar 2006.
- STRASSBURG F. W., Schweissen nichtrostender Stähle, DVS Band 67, DCS Gmbh, Dusseldorf, FRG, 1976.
- LUNDQVIST, B., Aspects of Gas-Metal Arc Welding of Stainless Steels, in Swedish. Sandvik AB, Sandviken, Sweden, 1980.
- LIAO, M. T., CHEN, W. J., The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and mechanical properties of stainless steel weldments, Materials Chemistry and Physics, 55, p. 145-155, 1998.
- FERREIRA, D.; FERRARESI, V. A.; BÁLSAMO, P. S. S., Influência do Tipo de Gás de Proteção da Soldagem MIG/MAG na Qualidade do Cordão de um Aço Inoxidável, 4º COBEF, Abril, 2007.

SHIELDING GAS INFLUENCE ON THE WELD MICROSTRUCTURE OF THE FERRITIC STAINLESS STEEL

Demostenes Ferreira Filho

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, MG, Brasil
demostenes@mecanica.ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

valtairf@mecanica.ufu.br

Abstract: Until not so long time ago the ferritic stainless steel was welded only with austenitic wires, like AWS ER 308LSi and 307Si, to have a good quality in the weld. Stabilized ferritic stainless wires (for example, the 430Ti, 430LNb e 409Nb) have been developed to give a good quality to the weld of this steels, possessing still a lesser cost. But, it is necessary to have one study of the influence of the shielding gas on these kind of wires. The aim of this work is to study the influence of some shielding gases compositions (pure argon and oxygen and carbon dioxide mixtures) on the microstructure of the GMAW short circuit transfer mode weld of the ferritic stainless steel. It was done tests with six shielding gas compositions and the three wires (ER430, ER430Ti and ER430LNB), keeping the same medium current and the metal deposited quantity on the UNS43932 stainless steel plate. The results showed that the oxygen or carbon dioxide content increase on the shielding gas generates an increase in the amount of martensite for the ER430 and ER430Ti wires, but whatever shielding gas used on the ER430LNB it wasn't observed martensite.

Keywords: ferritic stainless steel, shielding gas, microstructure, MIG/MAG, short-circuit.