

## **INFLUÊNCIA DO GÁS DE PROTEÇÃO UTILIZADO NA SOLDAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS ESTABILIZADOS NO ENSAIO DE DOBRAMENTO**

**Demostenes Ferreira Filho, demostenesferreira@furg.br<sup>1</sup>**

**Cleiton Rodrigues Teixeira, cleitoneiteira@furg.br<sup>1</sup>**

**Valtair Antonio Ferraresi, valtairf@mecanica.ufu.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande, Rua Alfredo Huch, 475. CEP 96201-900, Rio Grande-RS.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco M, Caixa Postal 593. CEP 38400-902, Uberlândia-MG.

**Resumo:** *O ferro fundido vem sendo substituído pelo aço inoxidável ferrítico em sistemas de exaustão automotivos, principalmente para atender aos controles mais severos de emissão de gases poluentes, aumento da vida útil, maior eficiência do motor e redução de peso. Estes componentes encontram-se na forma de tubos circulares e de chapas estampadas, sendo que praticamente todos possuem regiões soldadas. A soldagem destes materiais, até pouco tempo, era realizada somente com arames inoxidáveis austeníticos, objetivando uma boa qualidade da solda. Arames de aço inoxidável ferrítico estabilizados ao nióbio e titânio foram desenvolvidos, buscando melhores qualidades para a solda, além de redução de custos. Existe então, a necessidade de estudos detalhados da soldagem deste material, com relação a influência do gás de proteção, principalmente com altos teores de dióxido de carbono, uma vez que eles já são utilizados no mercado sem estudos aprofundados dos efeitos mecânicos no cordão de solda. Os ensaios de dobramento são utilizados para avaliar, principalmente na qualificação de procedimentos de soldagem, de forma quantitativa. O objetivo deste trabalho é estudar a influência da composição do gás de proteção (misturas de argônio com oxigênio ou dióxido de carbono) utilizado no processo de soldagem MIG/MAG de aços inoxidáveis ferríticos bi-estabilizados (UNS 43932 e AISI 441) com os metais de adição ER430Ti, ER430LNb e ER308LSi (utilizado como referência), avaliando-se de forma quantitativa (se a trinca ocorreu ou não na solda) e qualitativa (avaliação da força máxima e energia para realização do ensaio) os ensaios de dobramento para todas as condições. Para viabilizar as comparações em todas as condições de soldagem manteve-se a mesma corrente média de soldagem e a mesma quantidade de metal depositado. Os resultados mostraram que somente com um metal de adição e em altas concentrações de dióxido de carbono ocorreu falha no dobramento na solda e conseqüentemente variações significativas da força máxima e energia para realização do dobramento.*

**Palavras-chave:** Aço inoxidável ferrítico, Gás de proteção, Dobramento, MIG/MAG, Curto-circuito.

### **1. INTRODUÇÃO**

De um modo geral, os constituintes do sistema de exaustão encontram-se na forma de tubos circulares e de “blanks” (chapas estampadas), sendo que praticamente todos possuem regiões soldadas e de uma forma geral os aços inoxidáveis ferríticos podem ser utilizados ao longo de todo o sistema de exaustão. Segundo Alves et al. (2002) os principais aços inoxidáveis ferríticos utilizados na parte quente do sistema de exaustão automotivo são os aços AISI 409 e 441 e na parte fria são os aços AISI 409, 439 e 436.

Faria (2006) afirma que o sistema de exaustão automotivo é um componente que passou por diversas evoluções ao longo dos últimos 20 anos, com o intuito de atender aos controles mais severos de emissões de gases poluentes, a necessidade de maior durabilidade, aumento da eficiência do motor e reduções de peso e custo.

Os aços inoxidáveis utilizados nas partes quentes de sistemas de exaustores automotivos, segundo Sekita et al. (2004), devem ser refratários e possuir adições de nióbio, maiores quantidades de molibdênio e otimização da quantidade de silício. Outro fator importante citado pelo autor é a necessidade dos materiais utilizados na parte quente possuírem uma boa conformabilidade.

Renaudot et al. (2000), afirmam que a soldagem de aços inoxidáveis ferríticos com metais de adição também ferríticos minimiza a descontinuidade metalúrgica provocada pelo cordão de solda e promove melhor compatibilidade metalúrgica entre metal base e zona fundida devido as menores diferenças de dilatação térmica e microestrutura. Os autores afirmam que o metal de adição ER409Nb vem sendo utilizado desde a década de 90 para a soldagem de aços

inoxidáveis ferríticos de baixo teor de cromo. Testes realizados com esse arame apresentaram cordões de boa qualidade de forma, ductilidade e resistência à corrosão intergranular.

Os arames ferríticos podem conter diferentes elementos em sua composição química tais como titânio, nióbio e alumínio, com o intuito de melhorar as propriedades mecânicas e de resistência à corrosão das juntas. Inui et al. (2003) testou três tipos de metais de adição, não comerciais, de aço inoxidável ferríticos estabilizados, sendo um estabilizado apenas ao nióbio, o segundo ao nióbio e ao alumínio e o terceiro ao alumínio, titânio e nióbio na soldagem de aços inoxidáveis ferríticos. Neste trabalho o autor observou que a presença de alumínio, titânio e nitrogênio em quantidades adequadas é capaz e resultar em uma zona fundida com grãos finos e, conseqüentemente, em melhores propriedades mecânicas.

Madeira (2007) comparando os resultados dos arames ER430Ti e ER430LNb utilizando o gás de proteção Ar+2%O<sub>2</sub>, observou uma maior penetração com o uso do ER430Ti. Este fato foi observado para a mesma regulação da fonte de soldagem (tensão e velocidade de alimentação) e maiores correntes foram necessários para a mesma taxa de fusão comparado com o outro arame. O autor concluiu que esta maior penetração está relacionada aos maiores valores de resistividade do metal de adição ER430Ti em relação ER430LNb. Os valores de resistividade elétrica foram medidos por Resende (2007) de forma comparativa para os metais de adição ER308LSi, ER430Ti e ER430LNb, constatou-se que os dois primeiros arames possuem valores relativamente parecidos, já o último arame possui valores mais baixos de resistividade elétrica.

Resende (2007) comparando os cordões de solda obtidos com os arames ER430Ti e ER430LNb, notou que a aparência do cordão de solda do 430Ti foi bastante inferior, com menor molhabilidade e qualidade superficial pior. Este fato foi atribuído, como o principal efeito, a rugosidade superficial do arame ER439Ti, que resultou em alimentação do arame eletrodo de forma irregular.

Verifica-se a necessidade de novos estudos relacionados à soldagem dos aços inoxidável ferrítico, que é o objetivo deste trabalho, principalmente com relação a influência de vários tipos de gás de proteção na soldagem de dois tipos de aço inoxidável ferrítico bi-estabilizado ao titânio e nióbio com metais de adição também de aço inoxidável ferrítico. Para alcançar esse objetivo foram realizadas análises dos ensaios de dobramento com a variação do gás de proteção para três diferentes metais de adição.

## 2. MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os materiais de base utilizados foram os aços inoxidáveis ferríticos UNS 43932, que possui médio cromo, com bi-estabilização ao nióbio e ao titânio. Estes material foi selecionado por ser amplamente utilizado na parte fria de sistemas de exaustores automotivos. Os materiais foram cedidos pela empresa ArcelorMittal, que também realizou as medições de composição química por espectrômetro óptico, que são apresentadas na Tab. (1).

**Tabela 1. Composição química do material de base utilizado, fornecido pela ArcelorMittal**

MB	Cr	C	N	Ti	S	Nb	ΔTi	ΔNb
<b>UNS 43932</b>	17,050	0,011	0,013	0,200	0,002	0,190	0,140	0,140
<b>AISI 441</b>	18,010	0,014	0,009	0,130	0,001	0,560	0,080	0,490

Nota-se que, utilizando as fórmulas de estabilização de um aço inoxidável ferrítico bi-estabilizado ao titânio e nióbio de Fujimura; Tsuge (1999), dadas pelas Eq. (1) e (2), foram calculados os níveis de estabilização (ΔTi e ΔNb), verificando-se que o aço inoxidável ferrítico UNS 43932 apresentou valores similares de estabilização tanto ao nióbio, quanto ao titânio.

$$\Delta Nb = [Nb] - (0,7 \times 7,74[C]) \quad (1)$$

$$\Delta Ti = [Ti] - 3,42[N] - (0,3 \times 4[C]) \quad (2)$$

Foram utilizados três materiais de adição, sendo um de aço inoxidável austenítico (ER 308LSi), que foi tomado como referência, uma vez que é o mais utilizado pela indústria automotiva (especificamente em exaustores), e dois metais de adição de aço inoxidável ferrítico, sendo um estabilizado ao titânio (ER430Ti) e outro estabilizado ao nióbio (ER430LNb), todos possuindo um diâmetro de 1,0 mm e cedidos pela empresa ArcelorMittal., que também realizou as análises das composições químicas por via úmida. A Tab. (2) apresenta a composição química dos arames utilizados.

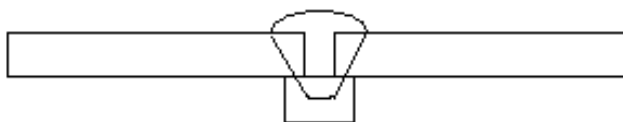
**Tabela 2. Composição química dos arames eletrodos utilizados, fornecido pela ArcelorMittal**

Elem.	C	N	Cr	Mn	Nb	Ni	S	Si	Ti
<b>ER308LSi</b>	0,018	0,056	19,620	1,930	0,001	10,290	0,012	0,750	0,056
<b>ER430Ti</b>	0,108	0,014	17,450	0,650	0,001	0,400	0,002	1,040	0,350
<b>ER430LNb</b>	0,027	0,014	17,660	0,425	0,440	0,440	0,004	0,430	0,004

Realizaram-se os cálculos utilizando-se as fórmulas de estabilização para o arame ER430Ti, que apresentou um gradiente de titânio negativo ( $\Delta Ti = -0,130$ ), ou seja, neste arame não há Ti suficiente para combinar-se com todo o C e N do arame, principalmente, em função do seu grande teor de C. Por outro lado, o arame ER430LNb possui um gradiente de nióbio positivo ( $\Delta Nb = 0,123$ ), ou seja, este arame possui quantidade de elementos estabilizantes superior a quantidade mínima para prevenir a formação de carbonetos ou nitretos de cromo e/ou a presença de uma quantidade de elementos intersticiais em solução sólida capaz de propiciar a formação de austenita a alta temperatura. Sendo assim, já é possível verificar que o arame ER430LNb possui uma estabilização superior ao arame ER430Ti, sendo provavelmente, mais adequado em situações com maiores teores de carbono e/ou nitrogênio.

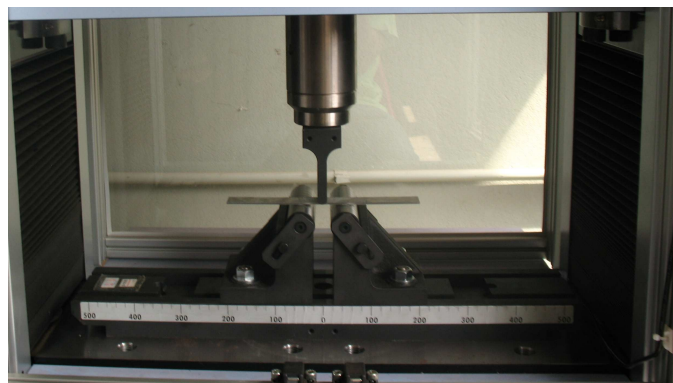
Para a realização dos testes foram utilizados cinco tipos de gás de proteção, sendo todos eles gases comerciais, fornecidos pela empresa WhiteMartins. Optou-se por gases comerciais para obter condições similares as realizadas no cotidiano das indústrias automotivas. Os gases de proteção utilizados foram o Ar, Ar+2%O<sub>2</sub>, Ar+4%CO<sub>2</sub>, Ar+8%CO<sub>2</sub> e Ar+25%CO<sub>2</sub>. Para a realização da soldagem dos corpos de prova utilizou-se uma fonte multiprocessos, sendo que o procedimento experimental pode ser observado em Ferreira Filho et al. (2009).

Os corpos de prova foram retirados das placas de teste soldadas em juntas de topo, com uma chapa do mesmo metal de base funcionando como um cobre-junta como pode ser observada no esquema apresentado na Fig. (1).



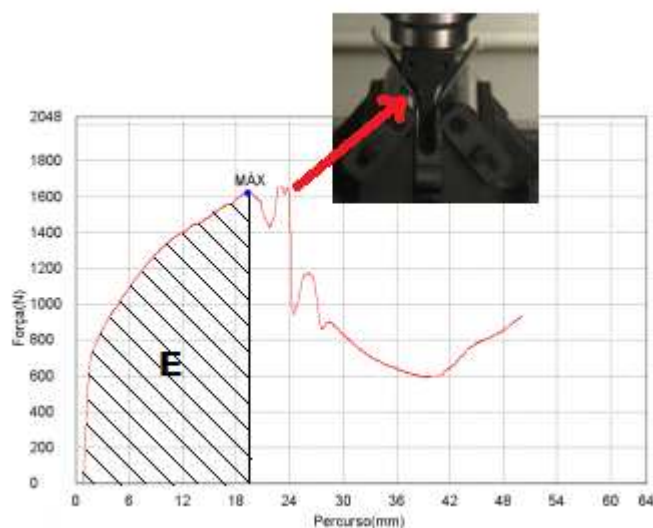
**Figura 1. Configuração das soldas realizadas na placa de teste**

O ensaio de dobramento foi também realizado utilizando o equipamento de ensaios mecânicos da Shimadzu, que para este tipo de ensaio tem capacidade de 200 KN. A Fig. (2) mostra os acessórios do ensaio de dobramento utilizados no equipamento da Shimadzu. Este ensaio tem a mesma função do ensaio de tração, ou seja, também tem o objetivo de verificar se a condição de soldagem foi adequada.



**Figura 2. Cutelo e guias utilizados no ensaio de dobramento na máquina de ensaios estática servo-elétrica**

Para a confecção dos corpos de prova baseou-se na norma ABNT NBR 6153 (1998) – Dobramento em barras de aço com diâmetro até 20 mm, ficando os corpos de prova de dobramento com dimensões de 22 mm sendo que a solda fica no centro do corpo de prova. Apesar do ensaio de dobramento ser apenas qualitativo, analisou-se a força máxima (MAX) para a realização do mesmo, desprezando-se o maior pico de força, pois se constatou que ele ocorria, conforme apresenta a Fig. (3), devido ao contato da chapa com a parte arredondada do punção. Analisou-se ainda a energia (E) necessária para a realização do ensaio, representada pela área hachurada da Fig. (3).



**Figura 3.** Gráfico da força em função do percurso para o ensaio de dobramento enfatizando a energia (E) necessária para a realização do ensaio, o ponto de força máxima e um segundo pico da força desenvolvido pelo encontro da chapa com os cantos arredondados do punção de dobramento

### 3. RESULTADOS

Para viabilizar uma análise comparativa com os ensaios de dobramento nas juntas soldadas realizaram-se medições da força máxima (Tab. (3)) e da energia necessária para o dobramento (Tab. (4)) para o metal de base estudado.

**Tabela 3. Força máxima obtida no dobramento do metal de base UNS 43932**

Metal de Base	Força Máxima [KN]				
	A	B	C	Media	Desvio
UNS 43932	1,77	1,71	1,74	1,74	0,03

**Tabela 4. Energia necessária para a realização do dobramento para o metal de base UNS 43932**

Metal de Base	Energia [KN.mm]				
	A	B	C	Media	Desvio
UNS 43932	23,26	21,54	22,95	22,58	0,92

Uma análise da força máxima e da energia para o dobramento será realizada a seguir, sendo dividido em três etapas, tomando como base o metal de adição utilizado (ER308LSi, ER430Ti e ER430LNb).

#### 3.1. ER308LSi

A Tabela 5 e 6 apresentam respectivamente a força máxima e a energia consumida para a realização do ensaio de dobramento para os corpos de prova soldados com o metal de adição ER308LSi no metal de base UNS 43932.

**Tabela 5. Força máxima obtida do ensaio de dobramento dos corpos de prova soldados com metal de adição ER308LSi no metal de base UNS 43932**

Metal de Adição	Gás de Proteção	Lado	FMAX [KN]				
			A	B	C	Media	Desvio
ER308LSi	Ar	Face	1,68	1,90	-	1,79	0,16
	Ar+2%O2	Face	1,63	1,57	1,60	1,60	0,03
	Ar+4%CO2	Face	1,85	1,81	1,66	1,77	0,10
	Ar+8%CO2	Face	1,67	1,78	1,83	1,76	0,08
	Ar+25%CO2	Face	1,70	1,68	1,80	1,73	0,07

Tabela 6. Energia consumida obtida do ensaio de dobramento dos corpos de prova soldados com metal de adição ER308LSi e metal de base UNS 43932

Metal de Adição	Gás de Proteção	Lado	Energia [KN.mm]				
			A	B	C	Media	Desvio
ER308LSi	Ar	Face	22,17	27,27	-	24,72	3,61
	Ar+2%O <sub>2</sub>	Face	23,35	24,29	25,49	24,38	1,07
	Ar+4%CO <sub>2</sub>	Face	23,85	23,64	19,17	22,22	2,64
	Ar+8%CO <sub>2</sub>	Face	23,44	24,23	27,08	24,92	1,91
	Ar+25%CO <sub>2</sub>	Face	27,23	24,98	26,73	26,32	1,18

As Figuras 4 e 5 apresentam respectivamente os gráficos da força máxima e a energia consumida obtida do ensaio de dobramento para os corpos de prova soldados com o metal de adição ER308LSi no metal de base UNS 43932 em função do gás de proteção utilizado. Observa-se que não houve uma variação significativa tanto na força, quanto na energia com o acréscimo do dióxido de carbono no gás de proteção. Este fato já era esperado, uma vez que, como foi observado por Ferreira Filho et al. (2009), não ocorreram variações microestruturais significativas com a variação do gás de proteção. Este fato justifica também o valor da força máxima e da energia obtida do ensaio no metal de base ficarem muito próximas dos encontrados nas juntas soldadas.

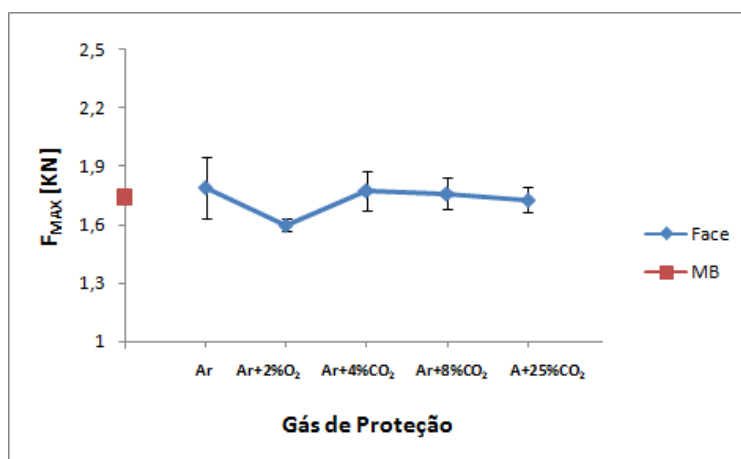


Figura 4. Força máxima para realização do dobramento em função do gás de proteção utilizado na solda realizada com o metal de adição ER308LSi no metal de base UNS43932

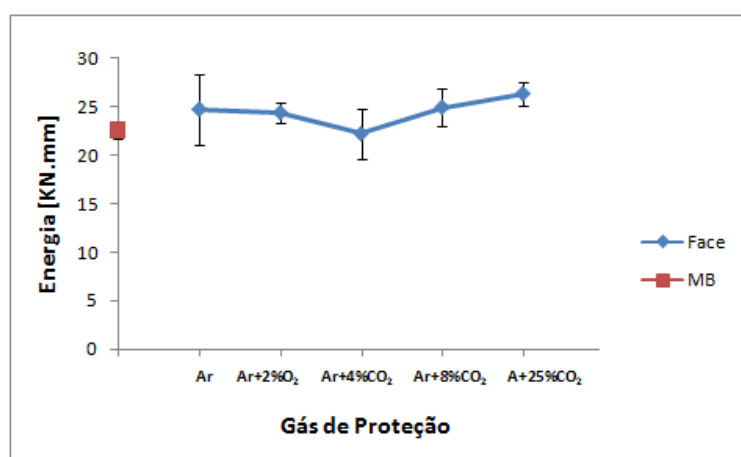


Figura 5. Energia total para a realização do dobramento em função do gás de proteção utilizado na solda realizada com o metal de adição ER308LSi no metal de base UNS43932

### 3.2. ER430Ti

As Tabelas 7 e 8 apresentam respectivamente a força máxima e a energia consumida para a realização do ensaio de dobramento para os corpos de prova soldados com o metal de adição ER430Ti no metal de base UNS 43932.

Tabela 7. Força máxima para a realização do ensaio de dobramento dos corpos de prova soldado com metal de adição ER430Ti no metal de base UNS 43932

Metal de Adição	Gás de Proteção	Lado	FMAX [KN]				
			A	B	C	Media	Desvio
ER430Ti	Ar	Raiz	1,90	2,04	1,79	1,91	0,12
		Face	1,71	1,87	1,78	1,78	0,08
	Ar+2%O <sub>2</sub>	Raiz	1,77	1,78	1,73	1,76	0,03
		Face	1,77	1,79	1,84	1,80	0,04
	Ar+4%CO <sub>2</sub>	Raiz	1,59	1,74	1,82	1,72	0,11
		Face	1,56	1,63	1,60	1,60	0,04
	Ar+8%CO <sub>2</sub>	Raiz	1,66	1,99	2,04	1,90	0,21
		Face	2,00	1,99	2,19	2,06	0,11
	Ar+25%CO <sub>2</sub>	Raiz	1,51	1,60	1,45	1,52	0,08
		Face	1,84	1,18	1,16	1,39	0,39

Tabela 8. Energia consumida para a realização do ensaio de dobramento dos corpos de prova soldados com metal de adição ER430Ti e metal de base UNS43932

Metal de Adição	Gás de Proteção	Lado	Energia [KN.mm]				
			A	B	C	Media	Desvio
ER430Ti	Ar	Raiz	27,52	27,56	25,61	26,90	1,12
		Face	26,58	23,72	26,59	25,63	1,66
	Ar+2%O <sub>2</sub>	Raiz	24,15	23,86	23,24	23,75	0,47
		Face	22,50	22,08	25,06	23,22	1,61
	Ar+4%CO <sub>2</sub>	Raiz	22,54	23,83	24,09	23,49	0,83
		Face	22,17	20,98	23,14	22,10	1,08
	Ar+8%CO <sub>2</sub>	Raiz	23,27	26,80	27,76	25,94	2,36
		Face	29,23	27,63	27,86	28,24	0,86
	Ar+25%CO <sub>2</sub>	Raiz	16,06	24,75	21,92	20,91	4,43
		Face	23,48	5,37	7,94	12,27	9,80

As Figuras 6 e 7 apresentam respectivamente os gráficos da força máxima e a energia consumida para a realização do ensaio de dobramento para os corpos de prova soldados com o metal de adição ER430Ti no metal de base UNS 43932 em função do gás de proteção utilizado.

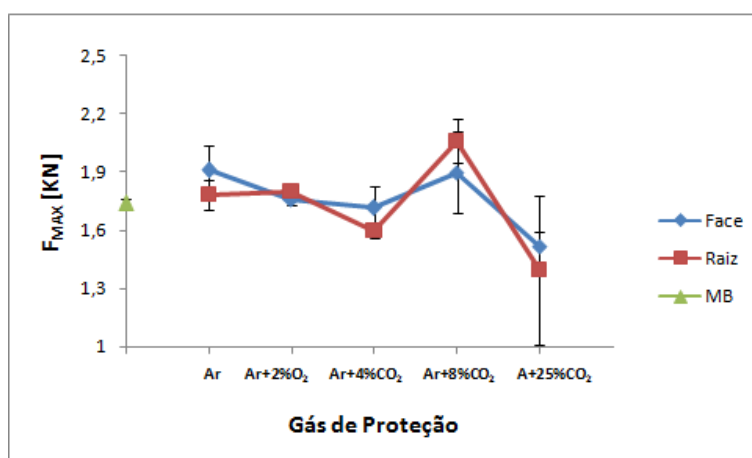
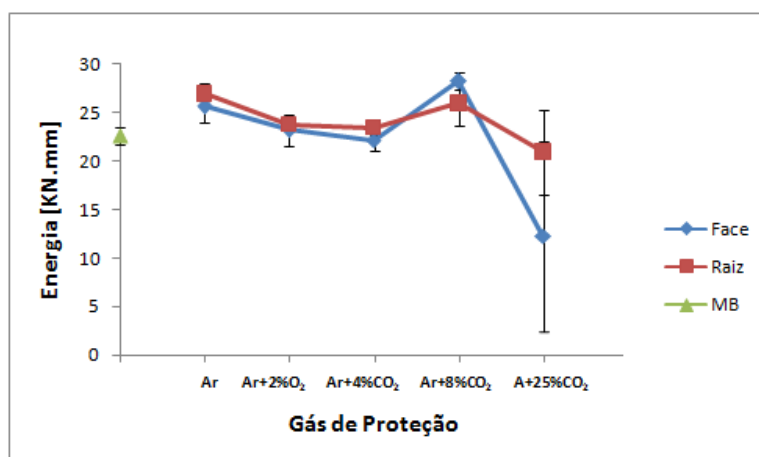


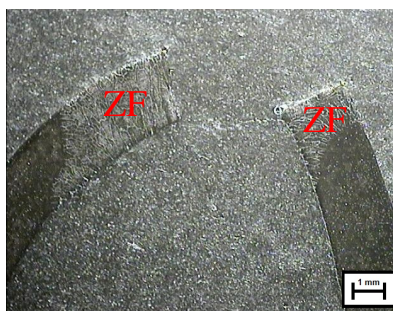
Figura 6. Força para realização do dobramento em função do gás de proteção utilizado na solda realizada com o metal de adição ER430Ti no metal de base UNS43932





**Figura 7. Energia total para a realização do dobramento em função do gás de proteção utilizado na solda realizada com o metal de adição ER430Ti no metal de base UNS43932**

Não houve variação significativa da energia para a realização do ensaio de dobramento quando se utilizou gás de proteção com até oito por cento de dióxido de carbono em mistura com argônio, além de estes valores terem ficado muito próximos dos valores obtidos para o metal de base. Observa-se uma queda do valor da energia quando se utilizou o gás de proteção com vinte e cinco por cento de dióxido de carbono. Este fato, provavelmente, ocorreu devido a fragilização do material, presença de martensita, conforme observado por Ferreira Filho et al. (2009), uma vez que a queda da energia e da força estão relacionadas com a ruptura que ocorreu na zona fundida, conforme observa-se na Fig. (8).



**Figura 8. Microestrutura do corpo de prova soldado com o metal de adição ER430Ti e gás de proteção Ar+25%CO<sub>2</sub> após a realização do ensaio de dobramento, enfatizando a região onde ocorreu a fratura com aumento de 10 vezes**

### 3.3. ER430LNb

As Tabelas 9 e 10 apresentam respectivamente a força máxima e a energia consumida para a realização do ensaio de dobramento para os corpos de prova soldados com o metal de adição ER430LNb no metal de base UNS 43932.

**Tabela 9. Força máxima para a realização do ensaio de dobramento dos corpos de prova soldados com metal de adição ER430LNb no metal de base UNS 43932**

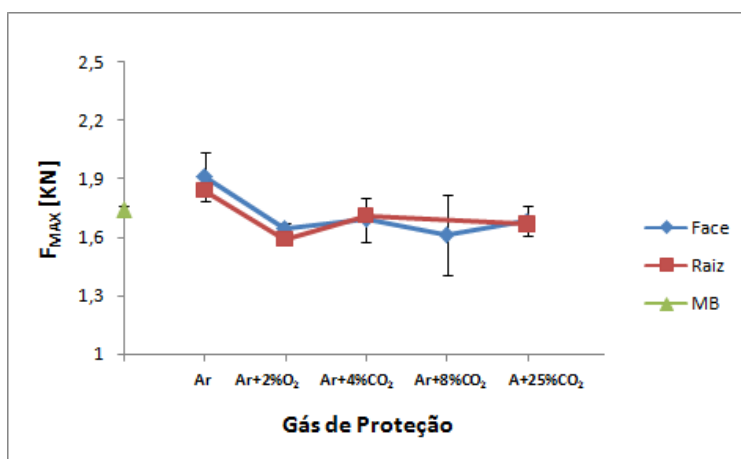
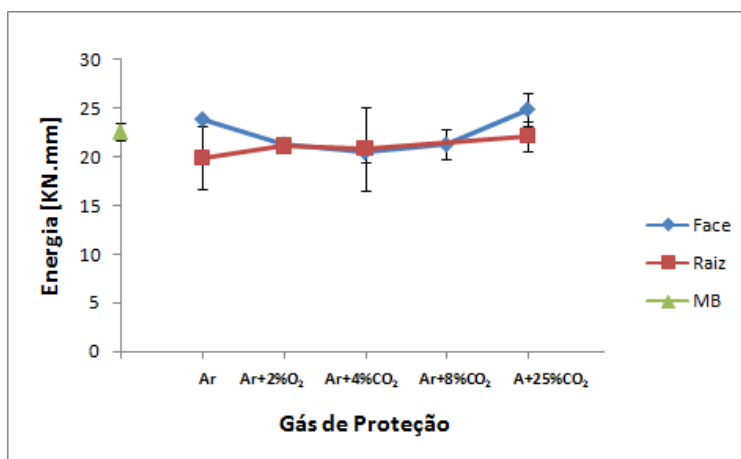
Metal de Adição	Gás de Proteção	Lado	FMAX [KN]				
			A	B	C	Media	Desvio
ER430LNb	Ar	Raiz	1,77	1,79	1,97	1,84	0,11
		Face	2,08	1,63	2,01	1,91	0,24
	Ar+2%O <sub>2</sub>	Raiz	1,56	1,57	1,65	1,59	0,05
		Face	1,68	1,64	1,61	1,64	0,03
	Ar+4% CO <sub>2</sub>	Raiz	1,82	1,69	1,64	1,71	0,09
		Face	1,70	1,67	1,70	1,69	0,02
	Ar+8% CO <sub>2</sub>	Raiz	-	-	-	-	-
		Face	1,61	1,59	1,63	1,61	0,02
	Ar+25%CO <sub>2</sub>	Raiz	1,63	1,76	1,61	1,67	0,08
		Face	1,70	1,68	1,67	1,68	0,02

**Tabela 10. Energia consumida para a realização do ensaio de dobramento dos corpos de prova soldados com metal de adição ER430LNb e metal de base UNS 43932**

Metal de Adição	Gás de Proteção	Lado	Energia [KN.mm]				
			A	B	C	Media	Desvio
ER430LNb	Ar	Raiz	22,62	16,41	20,73	19,92	3,18
		Face	24,05	23,66	23,87	23,86	0,19
	Ar+2%O <sub>2</sub>	Raiz	20,83	21,00	21,49	21,11	0,34
		Face	21,31	21,41	21,27	21,33	0,07
	Ar+4%CO <sub>2</sub>	Raiz	22,92	15,93	23,58	20,81	4,24
		Face	21,53	19,30	20,65	20,49	1,12
	Ar+8%CO <sub>2</sub>	Raiz	-	-	-	-	-
		Face	19,65	22,66	21,62	21,31	1,53
	Ar+25%CO <sub>2</sub>	Raiz	20,82	23,75	21,72	22,10	1,50
		Face	22,96	25,47	26,19	24,87	1,69

As Figuras 9 e 10 apresentam respectivamente os gráficos da força máxima e a energia consumida para a realização do ensaio de dobramento para os corpos de prova soldados com o metal de adição ER430LNb no metal de base UNS 43932 em função do gás de proteção utilizado.

Não houve variação significativa da tanto da força máxima, quanto da energia para a realização do ensaio de dobramento independentemente do gás de proteção utilizado, com valores similares aos encontrados para o metal de base. Já era esperado que não houvesse variação desta energia com a variação do gás de proteção, uma vez que não houve variação da microestrutura e microdureza da solda, conforme observado por Ferreira Filho et al. (2009).

**Figura 9. Força para realização de dobramento em função do gás de proteção utilizado na solda realizada com o metal de adição ER430LNb e metal de base UNS43932****Figura 10. Energia total para a realização do dobramento em função do gás de proteção utilizado na solda realizada com o metal de adição ER430LNb no metal de base UNS43932**



#### 4. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos é possível concluir que:

- Não ocorreram rupturas com na solda no dobramento dos corpos de prova soldados com os metais de adição ER308LSi e ER430LNb, independentemente do gás de proteção utilizado.
- Os corpos de prova soldados com o metal de adição ER430Ti e gás de proteção com até 8%CO<sub>2</sub> não tiveram ruptura na solda, logo, não sofrendo variações na força máxima e energia necessária para o ensaio de dobramento.
- O corpo de prova soldado com o metal de adição ER430Ti e gás de proteção Ar+25%CO<sub>2</sub> sofreram ruptura na solda devido a presença de martensita, gerando diminuição da força máxima e energia necessárias para a realização do dobramento.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, CAPES, Fapemig, LAPROSOLDA/UFU, FURG e ACELORMITTAL.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Alves, H.J.B, Carvalho, J.N., Aquino, M.V., Mantel, M.J. Development of ferritic stainless steels for automotive exhaust systems. 4th Stainless Steel Science and Market Congress, Paris, France, 10-13 June 2002
- Faria, R. A. Efeito dos elementos Ti e Nb no comportamento em fadiga em aços inoxidáveis ferríticos utilizados nos sistemas de exaustão de veículos automotores, 2006, 245 f., Tese de doutorado - REDEMAT.
- Ferreira Filho, D., Ferraresi, V. A. ; Teixeira, C. R., Influence of shielding gases with high percentage of CO<sub>2</sub> on the microstructure of ferritic steel welds. In: 20th International Congress of Mechanical Engineering, 2009, Gramado, RS Brazil. Anais do COBEM 2009. Rio de Janeiro, Brasil : Editado pela ABCM, 2009. v. 1. p. 1-10.
- Inui, K.; Noda, T.; Shimizu, T.; Development of the Ferritic Stainless Steel Welding Wire Providing Fine Grain Microstructure Weld Metal for the Components of Automotive Exhaust System. SAE International, World Congress and Exhibition, Detroit USA, (2003). (site: sae.org/technical/papers/2003-01-0979)
- Madeira, R. P., Influência do Uso de Arames Inoxidáveis Ferríticos nas Características da Zona Fundida de um Aço Inoxidável Ferrítico com 17% de Cromo Bi-estabilizado, 2007, 151 f., Dissertação de mestrado – UFMG.
- Renaudot, N.; et al. 430LNb – A new ferritic wire for automotive exhaust applications. 2000, 8p.
- Resende, A, Mapeamento paramétrico da soldagem GMAW com arames de aço inoxidável ferrítico e austenítico, 2007, 126 f, Dissertação de mestrado - UFMG.
- Sekita, T., Kaneto, S., Hasuno, S., Sato, A., Ogawa, T., Ogura, K., Materials and Technologies for Automotive Use, JFE GIHO No. 2 (Nov. 2004), p. 1–16

#### 7. DIREITOS AUTORAIS

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

## SHIELDING GAS INFLUENCE ON THE STABILIZED FERRITIC STAINLESS STEEL WELD ON BENDING TEST

Demostenes Ferreira Filho, demostenesferreira@furg.br<sup>1</sup>

Cleiton Rodrigues Teixeira, cleitonteixeira@furg.br<sup>1</sup>

Valtair Antonio Ferraresi, valtairf@mecanica.ufu.br<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal University of Rio Grande, Rua Alfredo Huch, 475. CEP 96201-900, Rio Grande-RS.

<sup>2</sup>Federal University of Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco M, Caixa Postal 593. CEP 38400-902, Uberlândia-MG.

**Abstract.** *The cast iron has been replaced by ferritic stainless steel in automotive exhaust systems, mainly to meet more stringent gas emissions controls, increased service life, greater engine efficiency and weight reduction. These components are in the form of circular tubes and printed plates, and almost all have welded regions. The welding of these materials, until recently was only performed with austenitic stainless steel wire, aiming good weld quality. Ferritic stainless steel wires stabilized with niobium and titanium have been developed, seeking the best qualities for the weld, and cost reduction. Detailed studies of welding this material are necessary, regarding the shielding gas influence, especially with high carbon dioxide levels, since they are already used in the market without extensive studies of mechanical effects on the weld. The bending test was used to evaluate, especially in the qualification of welding procedures, quantitatively. The aim of this work is to study the influence the shielding gas composition (argon mixtures with oxygen or carbon dioxide) used in the process of ferritic dual-stabilized (UNS 43932 and AISI 441) MIG/MAG welding, with ER430Ti, ER430LNb and ER308LSi (used as reference) wires, to evaluate in a quantitative manner (whether or not the crack occurred in the solder) and qualitative (maximum strength and energy to perform the test) the bending testing for all conditions. To allow comparisons in all welding conditions remained the same average current welding and the same amount of metal deposited. The results showed that only with a filler metal and high concentrations of carbon dioxide failed the bend in the solder and consequently variations of maximum force and energy for completion of bending test.*

**Keywords:** *Ferritic Stainless Steel, Shielding Gas, Bending Test, MIG/MAG, Short-circuit.*