

INFLUÊNCIA DO GÁS DE PROTEÇÃO NOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS JUNTAS SOLDADAS PELOS PROCESSOS GMAW

Igor Rafael Vilarouco Pedrosa, ivilarouco@yahoo.com.br¹

Yogendra Prasad Yadava, e-mail²

Ricardo Artur Sanguinetti Ferreira, ras@ufpe.br²

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos S/N, Cidade Universitária, 50740-530, Recife – PE, Brasil.

²Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos S/N, Cidade Universitária, 50740-530, Recife – PE, Brasil.

Resumo: *A influência do gás de proteção nos parâmetros de soldagem e nas propriedades mecânicas associadas foi estudada neste trabalho. Para a realização deste estudo, foram utilizados gases de proteção disponíveis no mercado: Argônio Puro (Ar), Mistura (75% Ar / 25% CO₂) e o Dióxido de Carbono Puro (CO₂). O metal de base utilizado foi o aço-carbono de classificação ASTM A36 e o metal de adição utilizado foi o arame de classificação ER70-S6. As microestruturas associadas a estes diferentes processos foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As propriedades mecânicas foram levantadas por tração uniaxial. A microestrutura da junta soldada com o Ar revelou falta de penetração e uma grande densidade de poros. A microestrutura da junta soldada com a Mistura revelou uma pequena densidade de poros e uma completa fusão na raiz. A microestrutura da junta soldada com o CO₂ revelou uma densidade de poros intermediária em relação às juntas soldadas com os outros gases de proteção. Os resultados das propriedades mecânicas ratificaram os resultados obtidos com a caracterização microestrutural. As melhores propriedades foram obtidas com a Mistura.*

Palavras-chave: *Processos GMAW, Gás de Proteção, Propriedades Mecânicas.*

1. INTRODUÇÃO

A soldagem é aplicada em grande escala em diversas atividades industriais como, por exemplo, indústrias automobilísticas, petróleo e gás, aeronáuticas, navais, etc. Em todos estes casos há uma contínua busca pela melhoria na qualidade das juntas soldadas de responsabilidade, como é o caso das tubulações, dos vasos de pressão, dos tanques e de elementos estruturais nestes diferentes segmentos industriais. Nestes últimos anos, vêm sendo feitos grandes investimentos em pesquisas e desenvolvimento dos processos de soldagem, bem como a caracterização destes processos para facilitar a seleção do método mais adequado para cada aplicação específica.

O processo de soldagem semi-automático Gas Metal Arc Welding (GMAW) é amplamente utilizado devido a sua extensa faixa de aplicação em termos de espessuras e materiais utilizados, além da sua alta produtividade quando comparado com o processo eletrodo revestido.

O processo GMAW (Gas Metal Arc Welding) é um processo de soldagem a arco elétrico estabelecido entre o metal de base e o metal de adição alimentado automaticamente. Neste processo existe uma pistola através da qual sai o arame (eletrodo) alimentado automaticamente e o gás de proteção responsável pela formação da atmosfera protetora.

Neste trabalho será estudada a influência do gás de proteção nos parâmetros de soldagem e nas propriedades mecânicas das juntas soldadas pelos processos GMAW. Para a realização deste estudo, foram escolhidos gases de proteção comerciais por serem amplamente utilizados em diversas indústrias.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A soldagem, como é conhecida usualmente, consiste no processo de união de duas ou mais partes metálicas, através da utilização de energia térmica. Por essa razão, o material adjacente à zona de soldagem é exposto a ciclos térmicos e transformações metalúrgicas complexas, bem como à indução de deformações e tensões residuais, (Okumura & Taniguchi, 1982).

Podem-se citar como principais variáveis na soldagem GMAW: intensidade da corrente de soldagem, tipo de polaridade, tensão de soldagem, velocidade de alimentação do arame, velocidade de soldagem, tipo e características da fonte de energia, vazão do gás de proteção, comprimento do eletrodo.

O sistema de alimentação do arame é desenhado para manter a velocidade do arame em um valor prefixado que é constante e independente das variações do arco de soldagem. Processos de soldagem convencionais usam fontes de tensão constante que, automaticamente, controlam o comprimento e a estabilidade do arco, (Carvalho, 1997; Norrish, 1992).

Os gases de proteção, segundo sua natureza e composição, têm uma grande influência nas características do arco, no modo de transferência de metal, na velocidade de soldagem, nas perdas por projeções (respingos), na penetração e na forma externa da solda (Quites, 2002).

O calor da operação de soldagem provoca, nos diversos pontos de uma junta, variações de temperatura. A variação de temperatura (T) em função do tempo (t) é o ciclo térmico no ponto considerado. Os ciclos térmicos sofridos a cada ponto do material soldado determinam as transformações microestruturais e, conseqüentemente, as propriedades esperadas para uma junta, (Zeemann & Emygdio, 2001).

Na soldagem por fusão, parte do metal de base funde juntamente com o metal de adição e parte próxima à região fundida é afetada pelo calor da solda e denominada Zona Termicamente Afetada (ZTA), a qual depende do material soldado (metal de base), do processo e do procedimento de soldagem. Sua extensão está em função do gradiente térmico na região que, por sua vez, depende: da temperatura de pré-aquecimento, das espessura e geometria da peça, das características térmicas do metal de base e do processo de soldagem, (Linert, 1967; Easterling, 1983).

Todas as regiões da ZTA podem ter suas propriedades alteradas em relação ao metal de base devido ao ciclo térmico. Entretanto, de uma maneira geral, a região que maior alteração sofre e, portanto, onde as propriedades mecânicas podem ser mais prejudicadas é a região de grãos grosseiros, (Easterling, 1983; Modenesi et al, 1985).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova utilizados para o trabalho experimental foram chapas de aço de classificação ASTM A36 com dimensões de 201,00mm X 37,60mm X 6,35mm. O metal de adição utilizado foi o arame de classificação ER70-S6, conforme norma AWS A5.18 (2001), com diâmetro de 1mm. As propriedades mecânicas e composições químicas do metal de base, segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), e do metal de adição, segundo norma AWS A5.18 (2001), estão representadas na Tab. (1).

Tabela 1. Propriedades mecânicas e composições químicas dos metais de base e adição.

	ASTM A36	ER70-S6
%C	0,26 max.	0,18
%Mn	...(1)	1,75
%P	0,04 max.	0,03
%S	0,05 max.	0,03
%Si	0,40	0,90
%Ni	...	0,50
%Cr	...	0,20
%Mo	...	0,30
%Cu	0,202	0,35
%V	...	0,08
(%Nb + %V)
Limite de Escoamento (MPa)	250 min.	400
Limite de Resistência (MPa)	400-550	480
Alongamento (%)	20 min.	22

O processo de soldagem utilizado neste trabalho foi o GMAW, no qual três gases de proteção comerciais foram utilizados: Argônio Puro (Ar), Mistura (75% Ar / 25% CO₂) e Dióxido de Carbono Puro (CO₂). Estes gases são amplamente utilizados em diversas atividades industriais, o que justifica a escolha dos mesmos para este trabalho.

O equipamento de soldagem usado neste trabalho foi uma fonte de tensão usada em qualquer processo GMAW. Este equipamento opera segundo a faixa de corrente 20-320A e a tensão de circuito aberto (DC) 15,5-44V.

Em Gas Metal Arc Welding (GMAW), as comuns variações de gases de proteção, fontes de potência e eletrodos têm efeitos significativos, resultando em várias importantes e diferentes variações do processo, (Welding Handbook, 1981).

A soldagem foi executada em juntas de topo com chanfro reto na posição plana "1G" e com deslocamento em uma única direção. As chapas foram soldadas com abertura de raiz de 1,6mm. Em cada corpo de prova foram realizados dois passes, sendo um de raiz e outro de enchimento. A soldagem foi manual, onde o comprimento do arco foi mantido aproximadamente constante. Todos os corpos de prova foram soldados pelo mesmo soldador, sendo este qualificado pela ABENDE / FBTS.

No início deste trabalho experimental, foram realizados testes pré-liminares a fim de se encontrar uma corrente média de soldagem superior à corrente de transição, com o objetivo de se obter o modo de transferência metálica spray (aerosol) na soldagem realizada com o Ar como gás de proteção. Segundo Marques et al (2007), a corrente de transição para um arame de aço carbono de 1mm de diâmetro é 165A.

Após os testes preliminares foram realizados três experimentos e, em cada experimento, foram soldadas duas chapas de aço (ASTM A36) que originaram vários corpos de prova para ensaios mecânicos e caracterizações microestruturais.

Para a medição dos parâmetros de soldagem foram utilizados um analisador de parâmetros e um alicate amperímetro.

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina de tração servo-hidráulica com célula de carga de 100kN, utilizando-se em todos os ensaios velocidade de deslocamento do cabeçote de 5,0mm/min. Os parâmetros do ensaio foram controlados através de um aplicativo comercial.

Os ensaios de tração foram executados em corpos de prova de tração transversal, onde o eixo longitudinal do corpo de prova é perpendicular ao eixo longitudinal do cordão de solda, segundo a norma API 1104 (2007). De cada chapa soldada foram extraídos três corpos de prova, totalizando nove corpos de prova de tração.

A caracterização microestrutural foi realizada em três corpos de prova obtidos através de cortes transversais das chapas soldadas com os três diferentes gases de proteção. A preparação metalográfica teve início com o embutimento dos corpos de prova em resina, seguido de lixamentos com granulometrias apropriadas na seguinte sequência: 220, 400, 600 e 1000. Após os lixamentos, os corpos de prova foram polidos com pasta abrasiva de diamante de 1 μ m com a finalidade de se eliminar os riscos e, em seguida, sofreram um ataque químico com o reagente Nital 5% durante quinze segundos. Após o ataque, os corpos foram lavados com água, secados com algodão e álcool e levados para observação num microscópio eletrônico de varredura (MEV).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela (2) mostra que a vazão do gás de proteção, a tensão média de soldagem e a velocidade de alimentação do arame foram mantidas constantes em todos os experimentos, enquanto que, a corrente média de soldagem e, conseqüentemente, a energia de soldagem sofreram variações em decorrência do tipo de gás de proteção utilizado. Estes resultados comprovam a afirmação de Welding Handbook (1981) que as comuns variações de gases de proteção têm efeitos significativos, resultando em várias importantes e diferentes variações do processo.

Tabela 2. Parâmetros de soldagem.

Experimento	1	2	3
Gás de Proteção	(Ar)	(75% Ar / 25% CO ₂)	(CO ₂)
Vazão do Gás (l/min)	14	14	14
Tensão Média (V)	24	24	24
Corrente Média (A)	175	170	167
Velocidade do Arame (mm/s)	112	112	112
Período (s)	33,81	33,81	33,81
Energia de Soldagem (kJ/cm)	5,51	5,35	5,26

Com base na observação do soldador qualificado pela ABENDE / FBTS, foi constatado que o modo de transferência do metal de adição obtido nas soldagens realizadas com o Ar e com a mistura (75% Ar / 25% CO₂) como gases de proteção foi spray (aerosol) e nas soldagens realizadas com o CO₂ como gás de proteção foi globular. Este resultado torna evidente que o Ar, por ser um gás mais leve, se ioniza mais facilmente que o CO₂. Sendo ionizado mais facilmente, o Ar potencializa o aumento natural da corrente, conforme observado experimentalmente (Tabela 2), influenciando no modo de transferência do metal de adição que passa de spray (Ar) para globular (CO₂). Isto comprova a afirmação de Quites (2002) que os gases de proteção, segundo sua natureza e composição, têm uma grande influência no tipo de transferência do metal de adição. Estes resultados comprovam também a afirmação de Modenesi & Nixon (1994) que em baixas densidades de corrente o modo de transferência tende a ser globular e em densidades mais altas tende a ser spray.

A Figura (1) mostra uma micrografia onde se vê a raiz da junta soldada pelo processo MIG com o Ar como gás de proteção. Através desta figura, é possível observar a existência de uma descontinuidade na raiz, caracterizando uma fusão incompleta. Este defeito pode justificar a menor resistência mecânica desta junta soldada.

A Figura (2-A) mostra uma micrografia do metal fundido da junta soldada pelo processo MIG com o Ar como gás de proteção e a Fig. (2-B) mostra uma micrografia do metal fundido da junta soldada pelo processo MAG com o CO₂ como gás de proteção. Através destas figuras, é possível observar a existência de poros da ordem de 4 μ m tanto na junta soldada com o Ar quanto na junta soldada com o CO₂ como gás de proteção. A junta soldada com o CO₂ apresentou uma quantidade de poros menor que a junta soldada com o Ar, o que pode justificar a maior resistência mecânica da junta soldada com o CO₂.

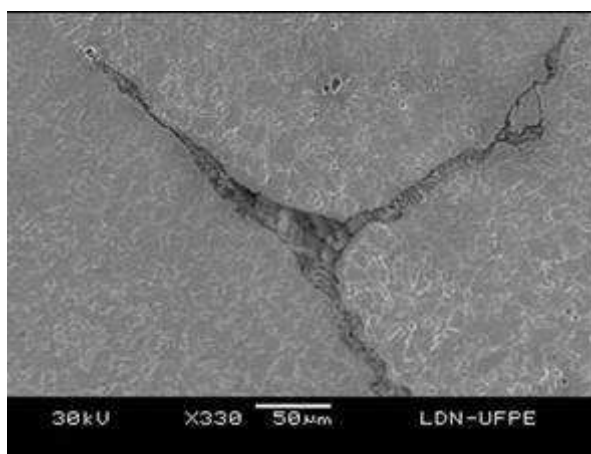


Figura 1. Micrografia da raiz da junta soldada com o Ar como gás de proteção.

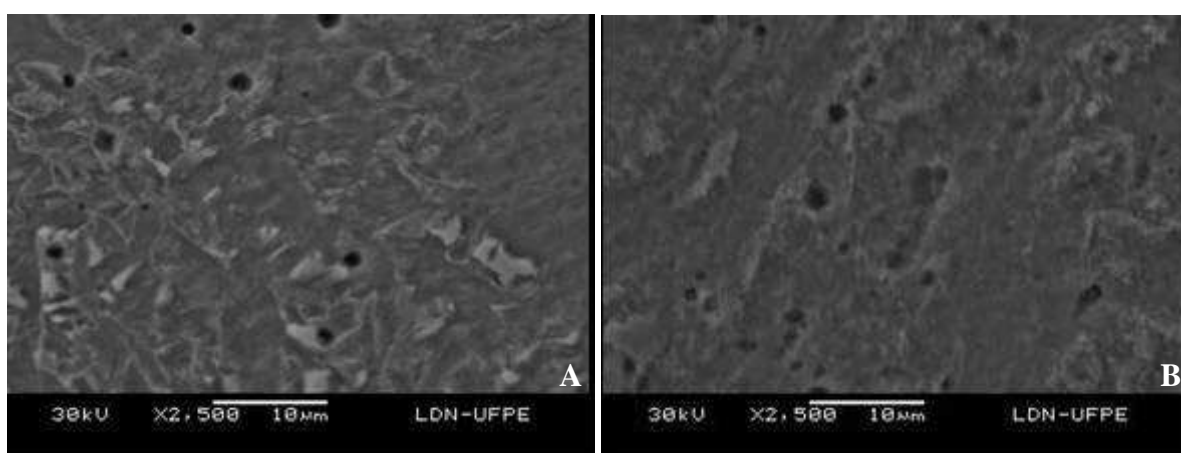


Figura 2. Micrografias dos metais fundidos das juntas soldadas com o Ar (A) e com o CO₂ (B) como gases de proteção.

As Figuras (3-A) e (3-B) mostram micrografias da raiz e do metal fundido da junta soldada pelo processo MAG com a mistura (75% Ar / 25% CO₂) como gás de proteção, respectivamente. Através destas figuras, é possível observar que a junta soldada com a mistura (75% Ar / 25% CO₂) não apresenta poros profundos e que a sua densidade de poros é menor que a das juntas soldadas com o Ar e com o CO₂ como gases de proteção. A baixa densidade de poros, a inexistência de poros profundos e a completa fusão na raiz (Fig. 3-A) podem justificar melhores propriedades mecânicas para a junta soldada com a mistura. Através da Fig. (3-B), é possível também observar a existência de baixos relevos que podem ser resultado do polimento.

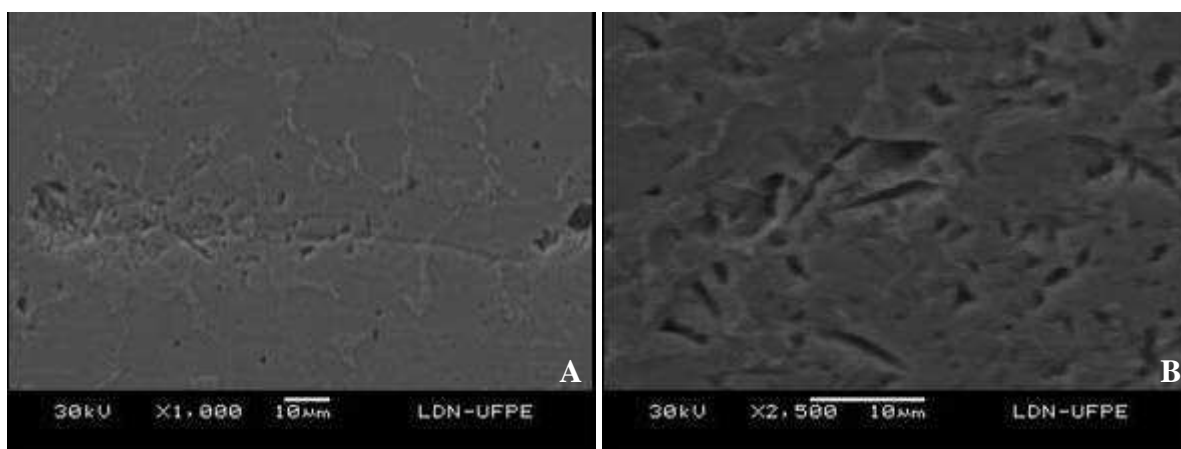


Figura 3. Micrografias da raiz (A) e do metal fundido (B) da junta soldada com a mistura (75% Ar / 25% CO₂) como gás de proteção.

Para a realização dos ensaios de tração, foram fabricados nove corpos de prova de tração transversal, segundo a norma API 1104 (2007), dos quais três foram extraídos das chapas soldadas com o Argônio Puro (Ar), três das chapas soldadas com a mistura (75% Ar / 25% CO₂) e os outros três das chapas soldadas com o Dióxido de Carbono Puro (CO₂). Desta forma, para cada gás de proteção foram obtidas curvas Tensão (σ) X Deformação (%) para cada corpo de prova ensaiado. Por fim, para cada gás de proteção foi obtida uma curva Tensão (σ) X Deformação (%) em função da média aritmética simples dos valores dos três ensaios. O desvio padrão dos valores de tensão foi baixo, conforme mostram as barras de erros das curvas Tensão (σ) X Deformação (%). Para traçar estas curvas foram utilizados valores verdadeiros de tensão.

A Figura (4-A) ilustra a curva Tensão (σ) X Deformação (%) resultante para a junta soldada com o Ar como gás de proteção. Observando-se esta figura, constatou-se que a solda apresentou uma baixa tenacidade, com uma deformação total igual a aproximadamente 12%, e um limite de ruptura inferior a 400MPa. Estes resultados podem ser justificados pela existência de uma fissuração na raiz (Fig. 1), caracterizando baixa penetração, e pela alta densidade de poros (Fig. 2-A) da junta soldada com o Ar como gás de proteção.

A Figura (4-B) ilustra a curva Tensão (σ) X Deformação (%) resultante para a junta soldada com a mistura (75% Ar / 25% CO₂) como gás de proteção. Observando-se esta figura, constatou-se que a solda apresentou uma tenacidade bastante elevada, com uma deformação total igual a aproximadamente 28%, e um limite de ruptura superior a 430MPa. Estes resultados podem ser justificados pela completa fusão na raiz (Fig. 3-A), baixa densidade de poros e inexistência de poros profundos (Fig. 3-B) na junta soldada com a mistura (75% Ar / 25% CO₂) como gás de proteção.

A Figura (4-C) ilustra a curva Tensão (σ) X Deformação (%) resultante para a junta soldada com o CO₂ como gás de proteção. Observando-se esta figura, constatou-se que a solda apresentou uma alta tenacidade, com uma deformação total igual a aproximadamente 24%, e um limite de ruptura igual a aproximadamente 420MPa. Estes resultados podem ser justificados pela boa penetração da solda e pela densidade de poros intermediária (Fig. 2-B) em relação às juntas soldadas com os outros gases de proteção.

Todos os corpos de prova ensaiados se romperam na região da junta soldada.

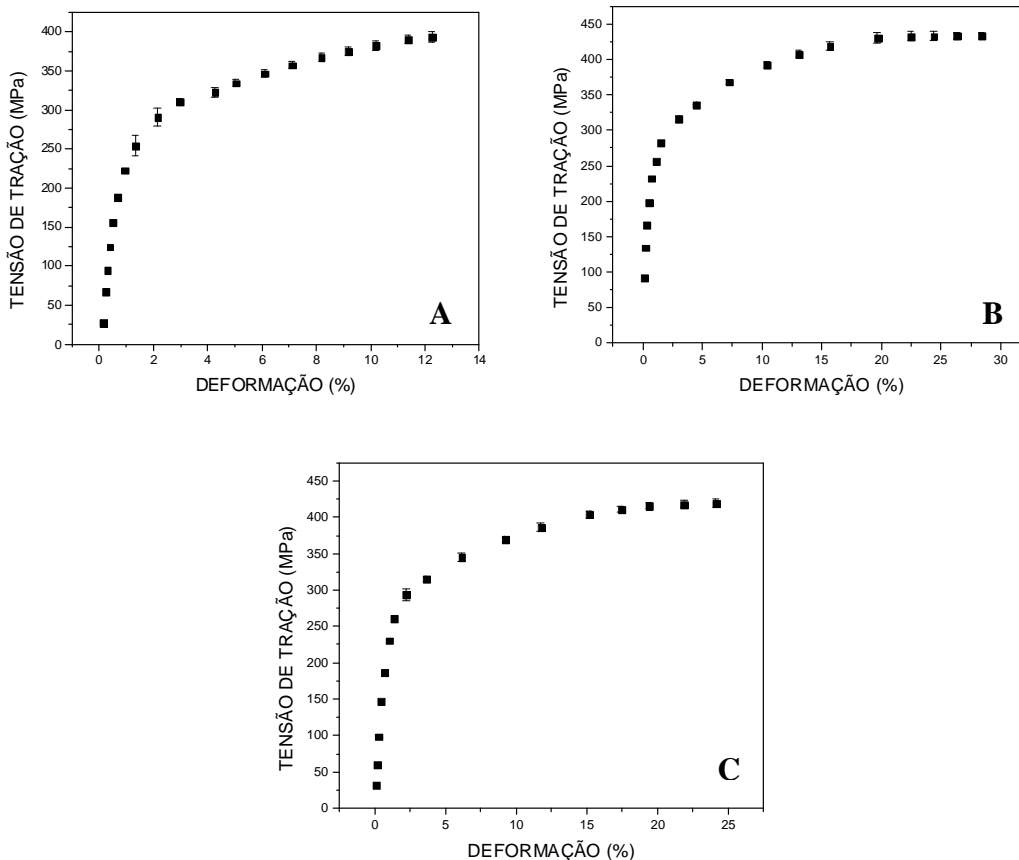


Figura 4. Curvas Tensão (σ) X Deformação (%) das juntas soldadas com o Ar (A), a mistura (B) e o CO₂ (C) como gases de proteção.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com os parâmetros de soldagem mostraram que o tipo de gás de proteção utilizado tem influência significativa na corrente média de soldagem e, conseqüentemente, na energia de soldagem. Estes resultados mostraram também que os demais parâmetros de soldagem não sofreram variações em decorrência do tipo de gás de proteção utilizado.

A junta soldada com o Argônio Puro (Ar) como gás de proteção apresentou uma falha na raiz, caracterizando falta de penetração, e uma grande densidade de poros no metal fundido, o que pode justificar sua baixa tenacidade e sua menor resistência mecânica em relação às juntas soldadas com os outros gases de proteção, conforme observado nos ensaios de tração.

A junta soldada pelo processo MAG com a mistura (75% Ar / 25% CO₂) como gás de proteção apresentou uma baixa densidade de poros, inexistência de poros profundos e uma completa fusão na raiz. O resultado obtido foi uma tenacidade bastante elevada e a maior resistência mecânica dentre as três juntas soldadas.

A junta soldada pelo processo MAG com o Dióxido de Carbono Puro (CO₂) como gás de proteção apresentou uma densidade de poros intermediária em relação às juntas soldadas com os outros gases de proteção. Os resultados de tenacidade e resistência mecânica mostraram que o CO₂ é uma boa alternativa para GMAW considerando o custo do Ar ou da mistura.

6. REFERÊNCIAS

API Standard 1104, July 2007, Welding of Pipelines and Related Facilities, 12th edition.

AWS, 2001, Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding, AWS A5.18 (2001).

AWS, 2002, Structural Welding Code - Steel, AWS D1.1 (2002).

Carvalho, G. C., 1997, An Adaptive Control System for Off-line Programming in Robotic Gas Metal Arc Welding, Cranfield, Ph.D. thesis, School of Industrial and Manufacturing Science, Cranfield University.

Easterling, K. E., 1983, Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, London, Butterworths & Co. Ltd., 232p.

Linert, G. E., 1967, Welding Metallurgy, 3rd. American Welding Society, New York, p. 631.

Marques, P. V.; Modenesi, P. J.; Bracarense, A. Q. Soldagem Fundamentos e Tecnologia, Ed. UFMG, Belo Horizonte - MG, 2007, p. 233 – 254.

Modenesi, P. J. & Nixon, J. H. Arc Instability Phenomena in GMA welding, Welding Journal: Vol. 73, 1994, p. 219-224.

Modenesi, P. J.; Marques, P. V.; Santos, D. B. dos., 1985, Curso de Metalurgia de Soldagem, Universidade Federal de Minas Gerais, DEM, Belo Horizonte - MG, 388p.

Norrish, J., 1992, Adv. Weld. Process, Bristol, UK.

Okumura, T. & Taniguchi, C., 1982, Engenharia de Soldagem e Aplicações, Rio de Janeiro.

Quites, A. M. Introdução à soldagem a Arco Voltaico, ed. Soldasoft, Florianópolis, 2002, 352p.

Welding Handbook, 1981, Fundamentals of welding, vol. 1, 7th ed. American Welding Society; Miami, Florida, p. 7-9.

Zeemann, A. & Emygdio, P. R. O., 2001, Básico de Soldagem, Tecmetal, Fonte: <http://www.google.com.br/> Data: 07/04/2008



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

INFLUENCE OF THE SHIELDING GAS ON THE WELDING PARAMETERS AND ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE WELDED JOINTS BY GMAW PROCESSES

Igor Rafael Vilarouco Pedrosa, ivilarouco@yahoo.com.br¹
Yogendra Prasad Yadava, e-mail²
Ricardo Artur Sanguinetti Ferreira, ras@ufpe.br²

¹Master. Post-graduate Program in Mechanical Engineering, UFPE, Acadêmico Hélio Ramos Avenue S/N, Cidade Universitária, 50740-530, Recife – PE, Brasil. Graduate student.

²Doctor. Mechanical Engineering Department, UFPE, Acadêmico Hélio Ramos Avenue S/N, Cidade Universitária, 50740-530, Recife – PE, Brasil. Teacher.

Abstract: *Influence of the shielding gas on the welding parameters and on the associated mechanical properties was studied in this work. For the execution of this study following, shielding gases available in the market were used: pure Argon (Ar), Stargold Plus mixture (75% Ar / 25% CO₂) and pure Carbon Dioxide (CO₂). The base metal used was carbon steel of classification ASTM A36 and the filler metal used was the wire of classification ER70-S6. The microstructures associated with these different processes were characterized by scanning electron microscopy (SEM). The mechanical properties were studied by tensile tests. The microstructure of the welded joint with the Ar revealed lack of penetration and a large density of pores. The microstructure of the welded joint with the mixture revealed a small density of pores and a complete fusion at the root. The microstructure of the welded joint with the CO₂ revealed an intermediate density of pores in relation to the welded joints with the others shielding gases. The results of the mechanical properties ratified the results obtained by the microstructural characterization. The best properties were obtained with the mixture.*

Keywords: *GMAW processes, shielding gas, mechanical properties.*