

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO GÁS DE PROTEÇÃO NA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DO AÇO ASTM A516 GRAU 70 SOLDADO PELO PROCESSO GMAW

Mario Teske

teske@utfpr.edu.br

César Lúcio Molitz Allenstein

lucio@utfpr.edu.br

Fábio Martins

fabiomartins@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba, Curitiba - Pr – Brasil

Resumo. O processo GMAW é intensamente utilizado na indústria mecânica, contudo, na produção de vasos de pressão, seu uso tem sido limitado, pois as soldas produzidas não atingem os requisitos impostos pelas normas que regem a construção destes equipamentos. O aço carbono ASTM A516 é o material mais utilizado para a fabricação de vasos de pressão, empregando-se o processo de soldagem por eletrodos revestidos, o que reflete no custo final do produto devido às características intrínsecas do processo. Em função da competitividade no setor produtivo, se faz necessário o uso de técnicas e processos que possam aumentar a produtividade e qualidade. O objetivo deste trabalho é estudar a influência da composição de misturas gasosas na resistência ao impacto de juntas soldadas do aço ASTM A516 grau 70, utilizando o processo GMAW. Foram propostas três misturas gasosas, contendo quantidades variadas de argônio, hélio, dióxido de carbono e oxigênio. Para avaliar a resistência ao impacto pelo ensaio Charpy, foram soldadas juntas com chanfro em V utilizando o arame/eletrodo AWS ER70S-6. As amostras que obtiveram os maiores e menores valores de energia absorvida foram analisadas por metalografia e por MEV. Os resultados obtidos apontam para a melhoria do desempenho das juntas com misturas gasosas contendo hélio. Observou-se a presença de inclusões de óxidos nas amostras ensaiadas, onde as maiores incidências destas apontaram para uma relação direta com os menores valores de energia absorvida, confirmando a grande influência do potencial de oxidação da mistura gasosa na resistência ao impacto da junta soldada.

Palavras Chave: Soldagem; GMAW; Gases de proteção; ASTM A516

1 – INTRODUÇÃO

O processo GMAW (Gas Metal Arc Welding) tem sido intensamente utilizado na indústria mecânica em geral, pelas suas características de alta produtividade, qualidade e baixo custo, substituindo, com vantagens, o processo de soldagem com eletrodos revestidos em muitas aplicações. Contudo, especificamente na produção de vasos de pressão, seu uso tem sido limitado, pois as soldas produzidas não atingem os requisitos impostos pelas normas no que se refere à morfologia dos cordões de solda e propriedades mecânicas das juntas soldadas (ASME, 2001, Liao e Chen, 1998).

Na sua grande maioria, os vasos de pressão, que são estruturas metálicas sujeitas à grandes solicitações e que necessitam de um alto grau de confiabilidade na soldagem, são fabricados a partir de chapas de aço soldadas pelo processo de soldagem com eletrodos revestidos, o que se reflete no custo final do produto pelas características intrínsecas do processo, tais como baixa produtividade e necessidade de cuidados especiais com determinados tipos de eletrodos. Contudo, as soldas produzidas apresentam boas características metalúrgicas e morfológicas (Wainer et al., 1992).

Segundo a ASTM (*American Society of Testing and Materials*), o material mais comumente utilizado na fabricação de vasos de pressão é o aço carbono ASTM A516. Este material é especificado para esta aplicação principalmente por ser um aço que atende aos requisitos de tenacidade em serviços de moderada e baixa temperatura. Quatro tipos de chapas de aço ASTM A516 são disponíveis comercialmente, classificadas em graus 55, 60, 65 e 70, contendo diferentes níveis de resistência mecânica em função da variação do teor de carbono, sendo o mais estudado atualmente o grau 70, contendo de 0,27 a 0,30% de carbono e resistência à tração de 485 a 620 MPa (ASTM, 1986).

Em função da competitividade no setor produtivo, o processo GMAW apresenta-se como alternativa para o aumento da produtividade na soldagem de vasos de pressão, contudo tem sido demonstrado por vários pesquisadores (Lyttle e Stapon, 1990, Jönsson et al., 1995 e Suban e Tusek, 2001), que as propriedades mecânicas do metal de solda depositado podem ser afetadas negativamente, quando misturas gasosas com elevados teores de dióxido de carbono ou oxigênio são utilizadas.

Na soldagem GMAW a poça de fusão, o arco elétrico e o metal de adição transferido para a solda são protegidos do contato com a atmosfera por meio de um fluxo laminar de gás, que além de proteger a região que está sendo soldada da contaminação pelo ar atmosférico, exerce uma influência marcante na estabilidade do processo de soldagem, nas características operacionais, nas características geométricas do cordão e nas propriedades do metal depositado. Assim, o tipo de gás usado constitui uma variável importante na determinação da qualidade da solda e na produtividade do processo (AWS, 1991).

Na soldagem a arco com proteção gasosa, filmes de óxidos com espessura microscópica, existentes na superfície do cátodo, têm uma importância fundamental na emissão a frio de elétrons, isto é, a temperaturas inferiores a cerca de 3500 K. Este mecanismo não é completamente conhecido, mas parece envolver a formação de campos elétricos, extremamente intensos na camada de óxido pela adsorção de íons positivos, a formação de filetes condutores no óxido com a emissão de elétrons e a destruição da camada neste local e, portanto, do ponto de emissão. Na soldagem GMAW de aços, este efeito pode reduzir a estabilidade do processo quando as camadas de óxido próximas da poça de fusão são consumidas e o arco tende a se desviar para longe desta, em busca de

novas regiões para a emissão de elétrons. Para regenerar a camada de óxido e, assim, eliminar este efeito, uma quantidade de gás oxidante (O_2 ou CO_2) é adicionada à mistura de proteção (Jönsson et al., 1995, Modenesi, 2001).

Os gases e misturas gasosas oxidantes contendo CO_2 , $Ar+CO_2$, $Ar+O_2$, CO_2+O_2 e outros são extremamente utilizados industrialmente na soldagem. Nas soldagens em que estes gases estão envolvidos, uma significativa perda de elementos de liga e impurezas é observada no metal fundido ao arco, pela interação com o oxigênio. A razão da oxidação do metal pelo gás de proteção depende da composição de ambos e dos parâmetros de soldagem. A capacidade do gás de proteção oxidar um metal durante a soldagem é geralmente chamada de potencial de oxidação (Novozhilov, 1988).

Stenbacka e Persson (1989) e Vaidya (2002) comentam que tanto o CO_2 quanto o O_2 , quando presentes no gás de proteção, aumentam o conteúdo de oxigênio no metal de solda. Entretanto, o efeito desses gases é desigual, ou seja, o potencial de oxidação (PO) varia com a percentagem volumétrica dos mesmos na mistura. O potencial de oxidação também influi na fluidez da poça de fusão, ou seja, na facilidade em que o metal líquido se desloca sobre o metal de base, volume de fumos, tenacidade e resistência mecânica do metal de solda, entre outros fatores. Fórmulas empíricas tem sido desenvolvidas, na tentativa de relacionar o PO com o oxigênio no metal de solda, sendo que o *International Institute of Welding* (IIW) apresenta a seguinte relação, que se aplica para um valor máximo de CO_2 de 25% e de O_2 de 12,5%:

$$PO = \%O_2 + (\%CO_2 / 2) \quad (1)$$

Assim, com base na Equação 1, podemos observar que o potencial de oxidação do CO_2 nas misturas gasosas corresponde à metade do potencial de oxidação do O_2 , quando este é utilizado na mistura, justificando assim a formação de misturas comerciais de argônio com baixos teores de O_2 em relação ao CO_2 . Geralmente, adições de oxigênio são limitadas em 8% para minimizar os problemas citados anteriormente, sendo que esta pequena quantidade garante seus benefícios operacionais (Lyttle e Stapon, 1990).

Conforme citado por Quintino e Pires (1996), as misturas binárias, ternárias, ou até mesmo quaternárias, utilizadas comercialmente nas aplicações industriais de soldagem, são fornecidas por empresas especializadas, que oferecem uma gama muito pequena de produtos catalogados. A preparação das misturas gasosas tem sido uma atividade quase exclusiva destas empresas, o que limita as possibilidades de pesquisa neste campo.

Esse trabalho tem como objetivo estudar a influência da composição de misturas de gases de proteção na soldagem GMAW do aço ASTM A516 grau 70, sobretudo no que diz respeito a resistência ao impacto das juntas soldadas.

2 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O metal de base utilizado neste trabalho foi o aço ASTM A516 grau 70. Esse material é comumente utilizado para a fabricação de vasos de pressão, por ser um aço que atende aos requisitos de tenacidade em serviços de moderada e baixa temperatura, onde a graduação 70 de sua especificação corresponde à 70.000 PSI de resistência mínima à tração.

Foram utilizadas, para cada composição de gás de proteção testada, três juntas com chanfro em V e com ângulo de bisel de 30 graus, formada por chapas medindo 80 x 200 x 19 mm (3/4"). Para a obtenção destas juntas soldadas foram depositados cordões de solda, utilizando deslocamento automático da tocha de soldagem disposta à noventa graus no sentido longitudinal e transversal da junta, originando camadas de solda superpostas para o preenchimento dos chanfros (soldagem multipasse). Esta configuração de junta permitiu a retirada de três amostras, transversalmente ao cordão, cobrindo a zona fundida, para a confecção de corpos de prova Charpy, com o entalhe localizado sobre a região central da zona fundida, conforme solicitado pela norma ASME seção VIII divisão IUG-84 (ASME, 2001), de modo a diluir o erro sistemático. A Tabela 1 lista a composição química e a Tabela 2 lista os valores para energia absorvida no teste de impacto Charpy

criogênico, com entalhe em V, especificados pelas normas ASTM A 516 / A 516M-86 e ASTM A-20 / A-20M-89a respectivamente.

Tabela 1. Composição química nominal do aço ASTM A516 grau 70 (% em peso)

Especificação	Máximo C por t* (mm)				Mn	Si	P máx.	S máx.
	$6 \leq t \leq 12,5$	$12,5 < t \leq 25$	$25 < t \leq 50$	$50 < t \leq 63$				
ASTM A516 Grau 70	0,27	0,28	0,28	0,30	0,85 a 1,20	0,15 a 0,40	0,035	0,035

* Espessura da chapa.

Tabela 2. Energia absorvida no teste de impacto Charpy criogênico com entalhe em “V” para o aço ASTM A516 grau 70

Mínima energia requerida (J)		Mínima temperatura (°C) para espessura t (mm)		
Média para 3 amostras	Somente uma amostra	$t \leq 25$	$25 < t \leq 50$	$50 < t \leq 63$
20	16	-46	-40	-35

Conforme especificado na Tabela 2, para que os requisitos da norma ASTM A-20 / A-20M-89a (ASTM, 1989) sejam atendidos, o valor mínimo da energia absorvida, para a média de três amostras do aço ASTM A516 grau 70 testadas por Charpy, é de 20J, sendo que nenhuma das três amostras pode apresentar valor menor que 16J de energia absorvida no ensaio. Devido aos requisitos de mínimos valores de energia absorvida nos ensaios de impacto Charpy criogênico, especificados na Tabela 2, foram testadas composições de misturas gasosas com a predominância do gás argônio, ou seja, contendo baixo potencial de oxidação. O potencial de oxidação da mistura gasosa pode ser calculado utilizando a Equação 1. O potencial de oxidação da mistura gasosa aumenta os teores de oxigênio na junta soldada, afetando as propriedades mecânicas desta (Stenbacka e Persson, 1989, Vaidya, 2002).

As três misturas gasosas propostas para esta pesquisa foram denominadas como: M1 (Ar+20%CO₂); M2 (Ar+15%He+5%CO₂); M3 (Ar+18%He+2%O₂). Optou-se por uma proporção mínima de 80% de argônio, uma vez que, no início deste trabalho não havia ainda sido determinado o tipo de transferência metálica a ser utilizado. Um teor de 80% de argônio garantiria a possibilidade de se trabalhar com qualquer tipo de transferência, não restringindo o campo de operação possível para este trabalho.

Na realização desse trabalho, utilizou-se uma fonte inversora operada no modo de imposição de tensão. As deposições de cordões de solda foram realizadas de forma automática, utilizando-se um sistema de deslocamento da tocha de soldagem, garantindo a repetibilidade das amostras. O metal de adição utilizado foi o arame-eletrodo de diâmetro 1,2 mm, classificação AWS ER70S-6.

Com o objetivo de testar a influência da composição do gás de proteção na soldagem do aço ASTM A516 grau 70 (resistência ao impacto das juntas soldadas), foi estabelecida uma relação entre as variáveis de influência no processo GMAW, a fim de resultar em parâmetros que tornassem o tipo de proteção gasosa utilizada a única variável. A velocidade de alimentação do arame-eletrodo (Va), a tensão de soldagem (U), a velocidade de soldagem (Vs), a distância do bico de contato à peça (DBCP), o efeito indutivo (Indutância) e a vazão do gás de proteção (Vgás) foram determinados em pré-testes e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de soldagem fixos utilizados nos experimentos.

Va (m/min)	U (V)	Vs (cm/min)	DBCP (mm)	Indutância	Vgás (l/min)
7,5	24	35	16	5	14

Os parâmetros de soldagem, mostrados na Tabela 3, permitiram a obtenção da transferência metálica por curto-circuito, para as três misturas gasosas utilizadas.

De acordo com a norma ASTM A-20 / A-20M-89a (ASTM, 1989), que apresenta as especificações dos requisitos gerais para o aço ASTM A516 grau 70, o ensaio de impacto Charpy criogênico foi realizado à 227 K (-46°C), para a espessura da chapa utilizada na junta soldada desta pesquisa (19 mm). Os corpos de prova submetidos ao ensaio foram mantidos imersos em uma solução de álcool e CO₂ expandido. As amostras, preparadas para o ensaio Charpy, obedeceram as condições de temperatura estabelecidas pela norma ASTM E-23 (ASTM, 1998), que permite uma variação desta entre 225 e 229 K (-44 e -48°C). Para a realização dos ensaios de impacto Charpy, foi utilizado um equipamento de marca WOLPERT, calibrado, com pêndulo de 300 J.

A técnica de análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um microscópio de marca Jeol, modelo JSM – 6360 LV, foi aplicada para verificar o aspecto da fratura nas amostras que obtiveram o menor e o maior valor para a energia absorvida no ensaio Charpy, quando cada mistura gasosa foi testada (M1, M2 e M3).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 – Avaliação da Resistência ao Impacto na Zona Fundida

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de impacto Charpy criogênico, para as amostras extraídas da zona fundida das juntas soldadas com a mistura gasosa M1.

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 4, constatou-se que para todas as três juntas soldadas com a mistura gasosa M1, foi obtido um baixo valor de energia absorvida (J) no ensaio de impacto Charpy em pelo menos um dos três corpos de prova testados. Desta maneira, nesta pesquisa, a mistura gasosa M1 foi classificada como inadequada para a soldagem do aço ASTM A516 grau 70, pelos critérios da norma utilizada.

Embora o valor médio da energia absorvida, obtido para a junta soldada número 1 (37,67 J) tenha sido superior ao valor mínimo requerido pela norma ASTM A-20 / A-20M-89a (ASTM, 1989) para o aço ASTM A516 grau 70, que é de 20J, esta junta soldada não atendeu às especificações da norma devido ao baixo valor de energia absorvida alcançado pelo corpo de prova B, que foi de 10 J. A junta soldada número 2 também não atendeu às especificações da norma empregada, por não cumprir nenhum dos dois critérios de aceitação, pois o valor médio da energia absorvida foi inferior à 20J (19,33 J) e o corpo de prova C resultou em energia absorvida inferior à 16J (14J). Somente a junta soldada número 3 atendeu às especificações da norma.

Tabela 4. Valores de energia absorvida das amostras soldadas com a mistura M1.

Mistura gasosa	Zona fundida	Corpo de prova	Energia absorvida (J) a - 46°C	Média da energia absorvida (J)
M1 (Ar + 20% CO ₂)	Junta soldada 1	A	48	37,67
		B	10	
		C	55	
	Junta soldada 2	A	22	19,33
		B	22	
		C	14	
	Junta soldada 3	A	32	30,67
		B	16	
		C	44	

Acredita-se que devido ao elevado potencial de oxidação desta mistura, por conter 20% de dióxido de carbono, tenha ocorrido o aprisionamento de partículas óxidas durante a solidificação dos cordões de solda, diminuindo a resistência ao impacto destes. Conforme cita a literatura

(Lyttle e Stapon, 1990, Machado, 1996), na soldagem GMAW dos aços carbono são utilizados arames/eletrodos contendo desoxidantes como o silício e/ou manganês para evitar a formação do CO, que passa a ser um causador de porosidade. No entanto, a atuação destes elementos desoxidantes resultam em óxido de silício e de manganês. Como a solidificação do metal de solda é bastante rápida, pode-se supor que uma certa quantidade destes óxidos fique retida no cordão de solda, diminuindo a sua resistência mecânica e que também a incidência de óxidos aumente com o potencial de oxidação da mistura gasosa.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de impacto Charpy criogênico, para as amostras extraídas da zona fundida das juntas soldadas com a mistura gasosa M2.

Os valores médios das energias absorvidas, apresentados na Tabela 5, mostraram que todas as três juntas soldadas com a mistura gasosa M2, atenderam aos requisitos da norma ASTM A-20 / A-20M-89a (ASTM, 1989) para o aço ASTM A516 grau 70, pois foram superiores à 20J, assim como também não foi encontrado valor de energia absorvida inferior à 16 J para nenhum dos corpos de prova testados.

Tabela 5. Valores de energia absorvida das amostras soldadas com a mistura M2.

Mistura gasosa	Zona fundida	Corpo de prova	Energia absorvida (J) a - 46 ^o C	Média da energia absorvida (J)
M2 (Ar + 15% He + 5% CO ₂)	Junta soldada 1	A	21	30,33
		B	51	
		C	19	
	Junta soldada 2	A	38	37,00
		B	38	
		C	35	
	Junta soldada 3	A	21	27,00
		B	26	
		C	34	

Comparando-se os resultados obtidos com a mistura gasosa M1 (Ar+20%CO₂), onde somente uma das três juntas soldadas foi aprovada, constatou-se que quando foi utilizada a mistura gasosa M2 (Ar+15%He+5%CO₂) a aprovação foi de 100%, pelos critérios da norma utilizada. Este resultado confirmou a grande influência do potencial de oxidação da mistura gasosa na resistência ao impacto da junta soldada, pois de acordo com a Equação 1, a mistura gasosa M2 apresenta um potencial de oxidação (PO) muito inferior à mistura M1 (PO = 2,5 para M2 e PO = 10 para M1), garantindo o bom desempenho da junta soldada.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de impacto Charpy criogênico, para as amostras extraídas da zona fundida das juntas soldadas com a mistura gasosa M3.

Tabela 6. Valores de energia absorvida das amostras soldadas com a mistura M3.

Mistura gasosa	Zona fundida	Corpo de prova	Energia absorvida (J) a - 46 ^o C	Média da energia absorvida (J)	
	Junta soldada 1	A	14	15,33	
		B	12		
		C	20		
	Junta soldada 2	A	36	44,67	
		B	52		
		C	46		
			A	47	
			B	26	
			C	36	

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 6, foi verificado que os valores obtidos para a energia absorvida no ensaio de impacto Charpy foram muito baixos, para todos os corpos de prova testados da junta soldada número 1, em comparação com os valores obtidos para os corpos de prova das juntas soldadas 2 e 3, as quais atenderam às especificações da norma ASTM A-20 / A-20M-89a (ASTM, 1989).

Considerando-se o baixo potencial de oxidação da mistura gasosa M3 (Ar+18%He+2%O₂), esperava-se que a resposta para os valores de energia absorvida quando esta mistura gasosa fosse utilizada fosse semelhante à apresentada pela mistura gasosa M2 (Ar+15%He+5%CO₂), levando-se em conta o potencial de oxidação (PO) aproximado para ambas as misturas (PO = 2,5 para M2 e PO = 2 para M3), de acordo com a Equação 1.

Através da análise nas superfícies de fratura dos corpos de prova rompidos no ensaio de impacto Charpy, utilizando-se um estereoscópio com ampliação de 40 vezes, foi possível identificar a ocorrência de porosidade nas três amostras obtidas da junta soldada número 1, quando a mistura gasosa M3 foi utilizada. Esta descontinuidade encontrada justifica os baixos valores de energia absorvida registrados para os corpos de prova desta junta soldada.

Acredita-se que algum fator adverso levou à ocorrência desta porosidade, sendo que todas as juntas foram soldadas nas mesmas condições e somente esta apresentou descontinuidade. Pode-se supor que, pelo fato desta mistura gasosa (M3) conter maior porcentagem do gás hélio (18%) em relação à mistura M2 (15%), a vazão de 14 l/min utilizada esteja muito próxima de um limite mínimo necessário para a efetiva proteção durante as deposições de solda, uma vez que o gás hélio, pela sua baixa densidade, exige maiores vazões para proporcionar proteção gasosa efetiva.

3.2 – Análise da Fratura

Observando-se o aspecto da fratura dos corpos de prova ensaiados por Charpy, utilizando a técnica de análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), observou-se a presença de planos de clivagem para as amostras que foram soldadas com a mistura gasosa M1 (Ar+20%CO₂), as quais apresentaram os menores valores de energia absorvida no teste de impacto Charpy (abaixo de 20 J). Segundo Hertzberg (1996) os planos de clivagem ocorrem preferencialmente em planos cristalográficos específicos ($\{100\}$ para materiais com arranjo atômico cúbico de corpo centrado) e são usualmente associados à baixa energia absorvida na fratura. A presença de planos de clivagem são características microfratográficas de uma fratura frágil. A Figura 1 apresenta a fraturografia de uma amostra soldada com a mistura gasosa M1 que apresentou 14 J para o valor da energia absorvida no ensaio Charpy.

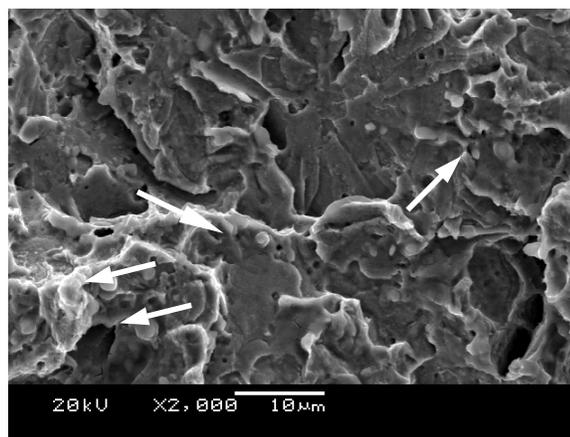


Figura 1 - Fraturografia do corpo de prova soldado com M1 ensaiado por Charpy (14 J).

Conforme pode ser observado na Figura 1, associado aos planos de clivagem, existe a presença de partículas óxidas, indicadas por setas, que podem ser visualizadas em um formato esferoidal de coloração clara e com variados tamanhos. Conforme cita a literatura (ASM, 1972, Hertzberg, 1996), o comportamento frágil dos aços é usualmente considerado iniciar-se por diferentes tipos de sítios

de nucleação, incluindo: carbonetos de ferro, partículas de segunda fase (como por exemplo, TiC), inclusões de sulfeto de manganês (MnS) ou inclusões de óxido de manganês (MnO) e óxido de silício (SiO₂). Considerando-se que o arame/eletrodo utilizado nos depósitos de solda continha elementos desoxidantes como o silício e o manganês, acredita-se que a origem das partículas óxidas, encontradas na análise metalográfica apresentada na Figura 1, deve-se, provavelmente, às intensas reações de oxidação que ocorreram entre estes elementos do metal de adição (0,85 %Si e 1,46%Mn) e o oxigênio proveniente da mistura gasosa de proteção (Ar+20%CO₂). Sendo a solidificação do metal de solda bastante rápida, pode-se supor que ocorra o aprisionamento de uma certa quantidade destas partículas óxidas durante a solidificação dos cordões de solda.

A Figura 2 apresenta o aspecto da fratura, analisada através da microscopia eletrônica de varredura, de uma amostra obtida com a mistura gasosa M1, a qual apresentou 48 J para o valor da energia absorvida no ensaio Charpy.

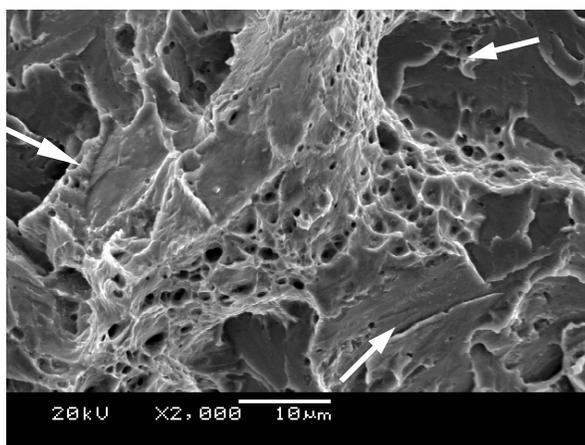


Figura 2 - Fratografia do corpo de prova soldado com M1 ensaiado por Charpy (48 J).

Como pode ser visto na Figura 2, observou-se um aspecto misto da fratura, formada por planos de clivagem nas regiões indicadas pelas setas e por cavidades conhecidas classicamente como *dimples* na região central, onde ocorreu a coalescência destas microcavidades, que é a característica microfratográfica de uma fratura dúctil (ASM, 1972, Hertzberg, 1996). Nesta figura, não se observa a presença de inclusões em mesmas dimensões e proporções encontradas na Figura 1, podendo-se associar este fato ao maior valor de energia absorvida no ensaio Charpy (48 J) para este corpo de prova.

4 – CONCLUSÕES

Da análise baseada na influência da composição das misturas gasosas propostas, na resistência ao impacto do aço ASTM A516 grau 70 soldado pelo processo GMAW, foi possível chegar as seguintes conclusões:

1. A mistura gasosa M2 pode ser recomendada para a soldagem do aço ASTM A516 grau 70, pois os valores de energia absorvida apresentados no ensaio Charpy atenderam aos requisitos da norma utilizada.
2. A recomendação da mistura gasosa M3 para a soldagem do aço ASTM A516 grau 70, depende de estudos para definir o valor adequado da vazão do gás de proteção.
3. Os corpos de prova que apresentaram os menores valores de energia absorvida foram os mesmos que apresentaram as maiores incidências de inclusões óxidas, reveladas pelas técnicas de análises de materiais por microscopia eletrônica de varredura.
4. O maior índice de inclusão de óxidos foi identificado nas amostras obtidas com a mistura gasosa de proteção M1, que resultaram em menores valores de energia absorvida, confirmando a grande influência do potencial de oxidação da mistura na resistência ao impacto da junta soldada.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar o seu sincero agradecimento às seguintes empresas, sem o qual este trabalho não poderia ter sido realizado:

Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A. – USIMINAS

White Martins Gases Industriais Ltda

SPECTROSCAN Tecnologia de Materiais Ltda

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASM. **Metals Handbook**: Atlas of Microstructures of Industrial Alloys. AMERICAN SOCIETY FOR MATERIALS, v.7. United States of America. 1972. 583p.

ASTM. **Metals Test Methods and Analytical Procedures**. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E-23. Section 3. West Conshohocken. 1998. p. 138 – 157.

ASTM. **Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for moderate and Lower Temperature Service**. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. A 516 / A 516M-86. Philadelphia, PA. 1986. p. 320 – 322.

ASTM. **Specification for General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels**. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. A 20 / A 20M-89a. Philadelphia, PA. 1989. p. 57 – 88.

ASME. **Pressure Vessel and Boiler Code**. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Section VIII. Division 1 UG-84 e UCS-56. New York, NY. 2001. p. 56 – 60.

AWS. **Welding Handbook**: Welding Processes. AMERICAN WELDING SOCIETY, v.2. 8 Ed. Miami, FL. 1991. 955 p.

JÖNSSON, P. G.; MURPHY, A. B.; SZEKELY, J. The Influence of Oxygen Additions on Argon Shielded Gas Metal Arc Welding Processes. **Welding Journal**. v. 74, n. 2, p. 48-s – 58-s. Feb. 1995.

HERTZBERG R. W. **Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials**. John Wiley & Sons. New York. 2 Ed. 1996. 786 p.

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**. n. 55, p. 145 – 151. Mar. 1998.

LYTTLE, K. A.; STAPON, W. F. G. Select the Best Shielding Gas Blend for the Application. **Welding Journal**. v. 69, n. 11, p. 21 – 27. Nov. 1990.

MODENESI, P.J. **Introdução à Física do Arco Elétrico e sua Aplicação na Soldagem dos Metais**. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, Apostila do Programa de pós-graduação em Engenharia Metalúrgica. Belo Horizonte. 2001. 53 p.

NOVOZHILOV, N. M. **Fundamental Metallurgy of Gas Shielded Arc Welding**. Gordon and Breach Science Publishers S. A. Amsterdam. 1988. 400 p.

QUINTINO, L.; PIRES, I. Influence of Shielding Gas Composition on Features of the GMAW Process. Secção de Tecnologia Mecânica, Instituto Superior Técnico. Lisboa **IIW Doc. XII-1427-96**. p. 219 – 235. Jul. 1996.

STENBACKA, N.; PERSSON, K. A. Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding. **Welding Journal**. v. 68, n. 11, p. 41 – 47. Nov. 1989.

SUBAN, M.; TUSEK, J. Dependence of Melting Rate in MIG/MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used. **Materials Processing Technology**. n. 119, p. 185 – 192. 2001.

VAIDYA, V. V. Shielding Gas Mixtures for Semiautomatic Welds. **Welding Journal**. v. 81, n. 09, p. 43 – 48. Set. 2002.

VAN DER VOORT, G. F. **Metallography**: Principles and Practice. McGraw-Hill. 1984. 752p.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. **Soldagem - Processos e Metalurgia**. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 1992. 494p.

GAS COMPOSITION INFLUENCE ON THE IMPACT PROPERTIES OF ASTM A 516 GRADE 70 WELDED BY GMAW PROCESS.

Mario Teske
teske@cefetpr.br

César Lúcio Molitz Allenstein
lucio@cefetpr.br

Fábio Martins
martinsf@cefetpr.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Av. Sete de Setembro, 3165, Curitiba, PR

Abstract

The GMAW process is intensively applied in mechanical industry, however, in pressure vessels construction, that application has been limited. Welded joints made by this process don't attend ASME code requirements. The carbon steel ASTM A 516 is most used like base material to pressure vessel construction, but with the conventional process (SMAW). This practice increases the final pressure vessel costs. To improve the product competition is mandatory to choose new procedures to reduce costs with more productivity and quality. The objective of this work is to conduct a study about gas mixtures influence on the impact properties of ASTM A 516 grade 70 butt weld joints. The welded joints were made by GMAW, and toughness was measured by Charpy "V" notched samples. Butt single "V" weld joints were executed with AWS ER 70S – 6 consumables. Three gas mixtures were proposed with different contents of Argon, Helium, Carbon Dioxide and Oxygen. The samples with extreme values obtained to absorbed Charpy energy were submitted to metallographic and Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis. The best results were obtained with shielding gas composition with Helium contained. Microscopy results identified non metallic oxide inclusions exactly in that samples with low Charpy self energy. This fact confirms that the great influence of oxidation potential on weld joint toughness.

Key words : Welding; GMAW ; shielding gases ; ASTM A 516.