

USO DO TESTE IMPLANTE PARA AVALIAÇÃO DA TRINCA DE HIDROGÊNIO EM CORDÃO DE SOLDA DE AÇO CA50

Waldemir dos Passos Martins, waldemir@ifma.edu.br¹

Victor H.B Santos, victor.hbs@hotmail.com¹

Roberta A.L. Vieira, roberta_adrielle15@hotmail.com¹

Valdemar S. Leal, valdemar@ifma.edu.br¹

José Ribamar Pereira, ribamar2074@gmail.com²

¹IFMA – Instituto Federal do Maranhão/Campus Monte Castelo, Av. Getúlio Vargas, 04. Monte Castelo. CEP:65030-005. São Luís/MA.

²São Marcos Manutenção Industrial e Naval, Rua 18, Qd. G, S/N, Distrito Industrial. CEP: 65090-269. São Luís/MA.

Resumo: Os aços quando submetidos a processos de soldagem a arco elétrico afetam termicamente a estrutura do material. Podemos avaliar este comportamento através da energia de soldagem. Nas emendas de barras de aço destinadas a concreto armado, a soldagem se apresenta de grande uso na recuperação e construção das armaduras. O aumento na construção civil da execução de emendas com solda, utilizando eletrodo revestido e MIG/MAG, levou as usinas siderúrgicas a desenvolverem barras de aço CA50 soldáveis. Um dos problemas atuais na utilização destas emendas se deve ao fato de que a utilização de um processo de soldagem com fusão envolve a geração de ciclos térmicos que conduzem a mudanças no estado de tensão, microestrutura e propriedades na zona fundida (ZF) e na zona termicamente afetada pelo calor (ZTA), e daí temos a ocorrência das trincas. As trincas de hidrogênio (TH) são um dos mais graves e persistentes defeitos encontrados na soldagem dos aços com teores de carbono elevados e dos microligados, e refere-se à perda de ductilidade do material, normalmente logo após a soldagem ter terminado. No entanto, a TH pode também ocorrer mais tarde, em até 48 horas após a soldagem. O comportamento perigoso da TH é complexo de ser entendido e origina-se, dentre outros fatores, quando o resfriamento da junta atinge a região de temperatura entre 150 °C e -100 °C. Desta forma, para avaliar se um material, quando soldado, é suscetível ou não a TH, um teste utilizado para a sua compreensão é o teste Implante. Desta forma, este trabalho apresenta um estudo da trinca de hidrogênio na soldagem de aços estruturais CA50 com diferentes energias de soldagem e uso do teste Implante.

Palavras-chave: Teste Implante, energia de soldagem, aço CA50.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da existência de vários tipos de emendas e de processos para unir os vergalhões, a solda a arco elétrico possui um vasto campo de aplicação a ser expandido, pois a sua execução é tecnicamente viável e de baixo custo. Com os avanços tecnológicos dos processos de soldagem e da produção dos aços de alta qualidade, as indústrias siderúrgicas afirmam garantir a fabricação do aço CA-50 para concreto armado com excelentes características de soldabilidade sem prejuízo de suas propriedades mecânicas. Entretanto, segundo Fortes (2005), a soldagem envolve muitos fenômenos metalúrgicos como, por exemplo, fusão, solidificação, transformações no estado sólido, deformações causadas pelo calor e tensões de contração, que podem causar muitos problemas práticos. Esses fenômenos são controlados na siderúrgica, mas como a atividade de soldagem envolve aquecimento e resfriamento heterogêneos do metal, é necessário um cuidado especial durante a soldagem de aços de baixa, média e alta liga. O des controle desses fenômenos pode gerar problemas de fissuração como o caso da trinca de hidrogênio (também conhecida como trinca a frio).

A TH acontece a temperaturas próximas do ambiente, sendo mais comumente observada na zona termicamente afetada (ZTA). O hidrogênio é introduzido na poça de fusão através da umidade ou do hidrogênio contidos nos compostos dos fluxos ou nas superfícies dos arames ou do metal de base, resultando em que a poça de fusão e o cordão de solda já solidificado tornam-se um reservatório de hidrogênio dissolvido. Numa poça de fusão de aço o hidrogênio se difunde do cordão de solda para as regiões adjacentes da ZTA que foram reaquecidas suficientemente para formar austenita. À medida que a solda se resfria a austenita se transforma e dificulta a difusão posterior do hidrogênio (Fortes, 2005). A ZTA é a região do metal de base adjacente à zona fundida (ZF), caracterizando-se por apresentar um ciclo térmico de rápido aquecimento, seguido de um rápido esfriamento, causado pela energia utilizada na soldagem. É importante observar que, durante um ciclo térmico, o tempo de resfriamento de uma determinada faixa de temperatura influi muito no desempenho da junta soldada.

A microestrutura e as propriedades mecânicas, como a resistência à propagação da trinca na ZTA, dependem fundamentalmente do tempo de resfriamento em uma faixa de temperatura entre 800°C e 500°C. As trincas de hidrogênio, nas quais o hidrogênio desempenha um papel preponderante, são controladas, além de outros fatores,

também pelo tempo de resfriamento na faixa de 150 °C a – 100 °C. Desta forma, para avaliar se um material é suscetível ou não a trinca de hidrogênio, um grande número de ensaios tem sido desenvolvido há várias décadas para a compreensão e a caracterização das diversas formas de trincas que podem ocorrer em uma solda, visto que a ocorrência destas é um evento complexo que depende de inúmeros aspectos e vários deles de difícil caracterização. Dos vários tipos de ensaios desenvolvidos alguns fornecem resultados apenas qualitativos (do tipo “trinca/não trinca”).

Outros ensaios fornecem resultados quantitativos, contudo, na maioria dos casos, estes resultados não podem ser usados diretamente para prever se trincas poderão se formar durante a soldagem de uma estrutura real, mas dão um indicativo que deve ser levado em consideração. Dentre os vários tipos de ensaios, destacam-se os ensaios onde a solicitação é imposta por um dispositivo externo que aplica uma carga ou deformação controlada ao corpo de prova, durante ou após a soldagem, e são conhecidos como **Testes com restrição externa ou indiretos**, aí incluído o Teste Implante. Os testes indiretos, de forma geral, se caracterizam por serem realizados em implantes entalhados sob carga ou deformação constante (Boellinghaus, Viyanit, Zimmer, 2010).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é investigar o surgimento da trinca de hidrogênio em aço CA50 soldados pelo processo Eletrodo Revestido e MIG/MAG e uso do ensaio implante a fim de suprir as empresas que atuam na área de construção civil com maiores informações técnicas sobre este tema.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Materiais, equipamentos e métodos

A composição química e as propriedades mecânicas dos aços usados neste estudo são mostradas na Tab. (1). As chapas para alocação do implante (Chapa Teste) e termopares têm as dimensões de 150 mm x 50 mm x 10 mm (comprimento x largura x espessura) como mostrado a Fig. (1). Para confecção dos implantes, foram utilizadas amostras provenientes de vergalhão do aço CA50, de diâmetro 10 mm, nervurado e confeccionados conforme norma AFNOR NF A89-100. O material da chapa teste (ASTM A36) tem composição química diferente do material do implante para que se avalie as implicações decorrentes da soldagem, visto que a chapa teste tem uma condutividade térmica diferente.

Tabela 1. Composição química e propriedades mecânicas dos aços

Aço	Composição Química (% em peso)						Ceq = 0,27 Ceq = 0,55
	C	Si	Mn	P	S	Cu	
A36	0,26	0,40	-	0,040	0,050	0,20	
CA50	0,35	0,50	1,50	0,050	0,050	-	
Propriedades Mecânicas							
Limite de Escoamento (LE) MPa			Limite de Resistência (LR) MPa			Alongamento (ε) %	
A36	250			560			26
CA50	500			540			8

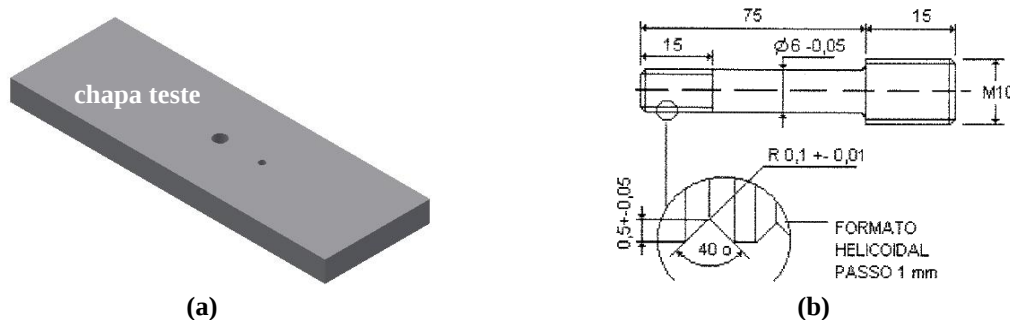


Figura 1. (a) Representação esquemática da chapa teste com o furo para colocação do implante e do termopar. (b) Dimensões do implante segundo a AFNOR NF A89-100.

Como metal de adição foi utilizado o Eletrodo Revestido básico ASME/AWS SFA 5.1 E7018, baixo hidrogênio, diâmetros 2,5 mm e 3,25 mm e, o Arame Sólido MIG/MAG ASME/AWS SFA 5.18 ER70S-6 de diâmetro 1,2 mm e gás de proteção 100% CO₂. A composição química e as propriedades mecânicas dos metais de adição estão mostradas na Tab. (2). Os carbonos equivalentes mostrados nas Tabs. (1) e (2) foram determinadas pela Eq. (1) do IIW (*International Institute of Welding*). Os consumíveis são de uso geral em soldagem de grande responsabilidade, depósito de metal de alta qualidade; usado em todos os tipos de juntas; alta velocidade e boa economia de trabalho; indicado para estruturas rígidas como as armaduras em construção civil.

$$Ceq (IIW) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (1)$$

A Equação (1) é conhecida como fórmula do carbono equivalente do IIW (1988). Foi desenvolvida na década de 40 para aços normalizados de alto teor de carbono, entretanto, pela sua vasta aplicação ainda é bastante utilizada. Valores de Ceq (IIW) $\leq 0,45\%$ indicam boa soldabilidade metalúrgica dos aços.

Tabela 2. Composição química e propriedades mecânicas dos consumíveis

Consumível	Composição Química (% em peso)						Ceq = 0,33 Ceq = 0,29
	C	Si	Mn	P	S	Cu	
ER70S-6	0,08	0,90	1,50	-	-	-	
E7018	0,07	0,50	1,30	-	-	-	
Propriedades Mecânicas							
Limite de Escoamento (LE) MPa			Limite de Resistência (LR) MPa		Alongamento (ε) %		
ER70S-6	560		470		25		
E7018	438 – 488		530 – 590		27 – 32		

2.2. Soldagem

As soldagens MIG/MAG foram realizadas na posição plana, sentido puxando, modo de transferência por curto-circuito. A fonte de soldagem, Inversal 600, foi operada no modo “tensão constante” e ângulo de soldagem da tocha de 90°. O processo de soldagem foi automatizado objetivando-se boa repetibilidade dos parâmetros de soldagem. O Objetivo foi alcançado com a utilização de um suporte para a tocha de alimentação do arame, fixado em uma máquina de corte do tipo MR 36 (tartaruga), de fabricação da White Martins. A DBCP foi mantida constante em 13 mm. Ensaios preliminares foram feitos e serviram para selecionar os cordões de solda com melhores características dimensionais e de acabamento (homogeneidade do cordão, quantidade de respingos e forma da escória) que se adaptariam ao passe desejado. Após esta análise inicial novos ensaios de deposição foram realizados para que se ajustasse essa condição a condição real de soldagem e proporcionasse juntas soldadas livres de discontinuidades.

As soldagens com Eletrodo Revestido foram realizadas por soldador profissional e a velocidade de soldagem foi medida considerando-se o tempo de soldagem cronometrado e o comprimento do cordão. A corrente e tensão foram as registradas na fonte de soldagem. Com estes parâmetros foi possível determinar as condições de alta e baixa energia de soldagem dispendida no arco. A Tabela (3) mostra os parâmetros de soldagem adotados na soldagem dos implantes.

Tabela 3. Parâmetros de soldagem

Ensaio	Va (m/min)	Vs (mm/s)	U (V)	I (A)	E (kJ/mm)
ELETRODO REVESTIDO					
I 1	-	1,80	24,1	120	1,67
I 2	-	2,28	24,1	95	1,00
MIG / MAG					
I 3	4,5	3,00	24,1	198	1,50
I 4	3,0	3,00	24,1	131	1,05

Va = Velocidade de alimentação do arame MIG/MAG; Vs = velocidade de soldagem; U = Tensão de soldagem; I = Corrente de soldagem; E = Energia dispendida do arco.

A energia de soldagem, Eq. (1), que tem uma relação direta com a tensão (V) e a Corrente (I), representa a potência que está relacionada com a energia elétrica produzida no arco elétrico pelo equipamento de soldagem, sendo de grande importância na previsão dos parâmetros de soldagem que podem ser requeridos. Esta energia permite de uma maneira simplificada, uma combinação entre os parâmetros de soldagem facilitando a interpretação dos resultados práticos da soldagem, assim como daqueles relacionados às propriedades mecânico/metalúrgicas da junta soldada. Além disto, a energia de soldagem é muito útil para comparações entre diferentes procedimentos de soldagem, onde parâmetros distintos são utilizados. A determinação desta energia tem grande importância para o estudo da soldagem, pois influência nas propriedades mecânicas dos conjuntos soldados uma vez que modificações de seus valores podem induzir a variações na morfologia do cordão de solda (penetração, largura e altura do reforço) e também na estrutura de solidificação devido às alterações provocadas no gradiente térmico na poça de fusão (Quites, 2002; Kou, 2003).

$$E = \eta (VI)/v \quad (1)$$

Onde:

E = Energia de soldagem ou Quantidade de calor (KJ/mm)

η = Eficiência térmica ou rendimento do processo (adimensional)

v = Velocidade de soldagem (mm/min).

V = Tensão do arco (volts)

I = Corrente de soldagem (ampéres)

Os demais equipamentos utilizados serviram para o corte das amostras a serem analisadas metalograficamente, entre eles: 1. Para retirada dos corpos de prova da junta soldada foi utilizada uma serra de fita marca S. Ramos, modelo 260 e os cortes foram executados em sentido transversal ao cordão da solda; 2. Para preparação das amostras foi utilizado uma lixadeira metalográfica marca Arotec, modelo Aropol E usando uma sequência de lixas de 120 a 1200 meshes; 3. Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados em um microdurômetro digital de bancada HMV SHIMADZU, MODELO MICROHARDNESS TESTER HV – 1000 com endentador piramidal de diamante; 4. Um microscópio óptico marca NIKON, modelo ECLIPSE LV100 com aumento máximo de 1500 vezes foi utilizado para obtenção das imagens.

2.3. Ensaio Implante

Para a execução dos ensaios utilizou-se um equipamento para ensaio implante, Fig. (2), que tem por finalidade a avaliação da susceptibilidade ao trincamento pelo hidrogênio. O equipamento é composto por dois sistemas interativos: (a) um sistema de tração, composto por um sistema hidráulico e pela estrutura metálica do equipamento, com a função de tracionar o implante, simulando um estado de tensões internas tal como se verifica em juntas soldadas e, (b) um sistema de monitoramento, com a função de monitorar o alívio de tensões, assim como a eventual ocorrência de trincas.



Figura 2. Equipamento para ensaio implante LTPSolda do DMM/IFMA-Campus Monte Castelo.

O ensaio consistiu em inserir o implante em um furo existente no tampo da máquina de ensaio, como mostra a Fig. (3), e fixado no suporte por rosqueamento e em seguida a chapa teste, com o furo para a inserção do implante, foi colocada na posição de montagem e o implante inserido neste furo, de forma que a parte do entalhe do implante, ficasse nivelada com a superfície da mesma, Fig. 3(a).

Após a montagem do implante na chapa, um passe de solda de 100 mm de comprimento foi depositado sobre a chapa passando por cima do furo e, portanto, do implante, em condições pré-determinadas. As chapas para alocação dos implantes foram usinadas para remoção da camada de óxido superficial e furadas, com um furo, de diâmetro 6,5 mm, correspondentes a alocação do implante e um furo, de diâmetro 2,5 mm, para alocação do termopar, sendo estes furos igualmente espaçados, como mostra a Fig. 1(a).

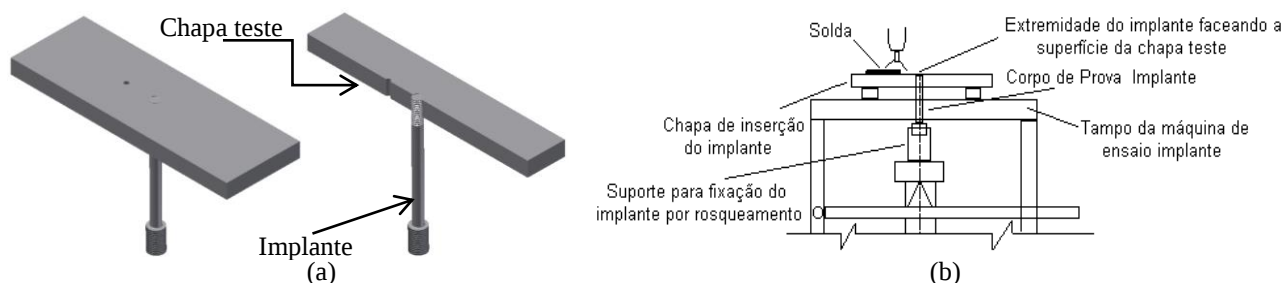


Figura 3. (a) representação esquemática da chapa teste inteira e em corte mostrando o posicionamento do implante; (b) representação esquemática do teste implante

Após a soldagem e antes que o resfriamento completo da solda ocorresse, uma carga de tração constante foi aplicada ao implante. A carga aplicada foi a menor possível para que não se registrasse a fratura (ruptura) do implante por sua influência. A carga de tração aplicada foi monitorada por uma célula de carga modelo TSA, Fig. (4a), dotada de um strain gage sensível a variações de força aplicada, com capacidade de transformar solicitações mecânicas em sinal elétrico e potencial para medir até cinco toneladas. Um transmissor de pesagem Aeph EP-001 recebeu o sinal da célula de carga e o transmitiu para a interface analógico/digital, mostrando a intensidade da solicitação num dado instante por

meio de um indicador digital, Fig. (4b). Antes do início do ensaio houve uma limpeza do furo da chapa teste e do implante com acetona. Após a soldagem, monitorou-se a temperatura registrada no termopar até que a mesma atingisse 150°C. Em seguida, foi retirada a carga do sistema hidráulico sendo então a tração gradativamente aplicada sobre o implante. Desta forma o implante passou a ser submetido a um esforço puro de tração constante durante todo o ensaio.

O transmissor de pesagem recebeu o sinal da célula de carga e o transmitiu para a interface analógico/digital, mostrando a intensidade da sollicitação num dado instante por meio de um indicador digital. Quando a solda atingiu a temperatura pretendida foi iniciada o ensaio com duração de 24 horas.



Figura 4. (a) Célula de carga modelo TSA. (b) Transmissor de pesagem que recebeu o sinal da célula de carga.

2.4. Análise dos corpos de prova

Os implantes ensaiados foram analisados por microscopia óptica (MO). Com os resultados da microestrutura e dureza foi possível comprovar a existência da TH. A preparação metalográfica dos implantes para análise microscópica foi realizada de maneira convencional, por lixamento com lixas de granulometria variando de 100 a 2000 mesh e polimento com alumina de 1mícron e 1/4 de mícron. O ataque químico foi feito com nital a 2% e a análise microscópica realizada por MO objetivando avaliar qualitativamente a microestrutura da região da junta soldada.

Para o ensaio de microdureza foi adotado o método Vickers, sendo o ensaio realizado conforma a norma ASTM E384, onde os implantes para este ensaio foram os mesmos usados na análise metalográfica. Em cada implante foram traçados 7 pontos de impressão aleatória de dureza na zona fundida (ZF), na região de grão grosseiro da ZTA (RGGZTA) e no metal de base (MB).

A microscopia ótica foi empregada para a análise qualitativa da microestrutura da ZF, ZTA e MB e a classificação dos microconstituintes seguiu o sistema adotado pelo IIW (1988). o Instituto Internacional de Soldagem (IIW, 1988), adotou uma terminologia baseada fundamentalmente em observações feitas com microscopia óptica e na relação constituinte – tenacidade sendo este a mais utilizada, onde os microconstituintes são definidos como:

FP – Ferrita Primária,

PF(I) – Ferrita Poligonal Intergranular,

FS(NA) – Ferrita de Segunda Fase Não Alinhada,

FS(SP) – Ferrita de Placa Plana (Widmanstätten),

AF – Ferrita Acicular,

M – Martensita.

PF(G) – Ferrita de Contorno de Grão,

FS – Ferrita de Segunda Fase,

FS(A) – Ferrita de Segunda Fase Alinhada,

FS(B) – Bainita,

FC – Ferrita com Agregados de Carbetos,

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Microestrutura

Na Figura (5) é apresentada as microestruturas do implante e chapa teste. É possível observar uma microestrutura formada basicamente por uma matriz de ferrita (em branco) com veios de perlita (tom escuro) nos dois tipos de material. A Figura (6) exhibe o comportamento microestrutural da ZF e ZTA, respectivamente, para as diferentes energias de soldagem utilizadas nos ensaios.

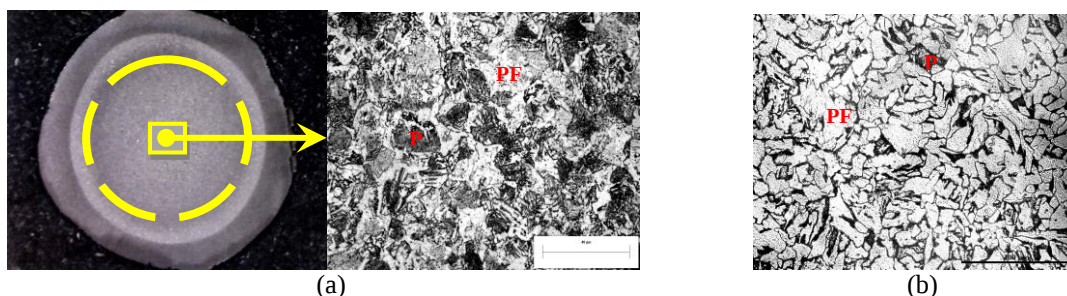


Figura 5. Micrografia do MB. (a) vergalhão/implante CA50; (b) chapa teste A36. Ampliação 750X. Nital 2%.

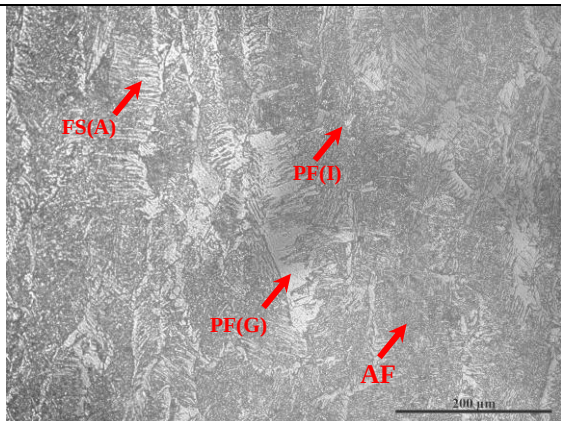
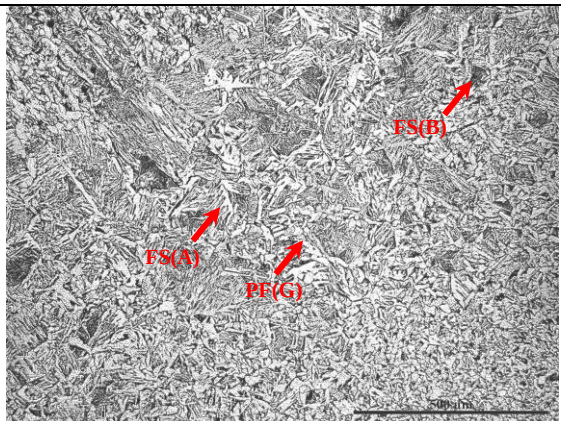
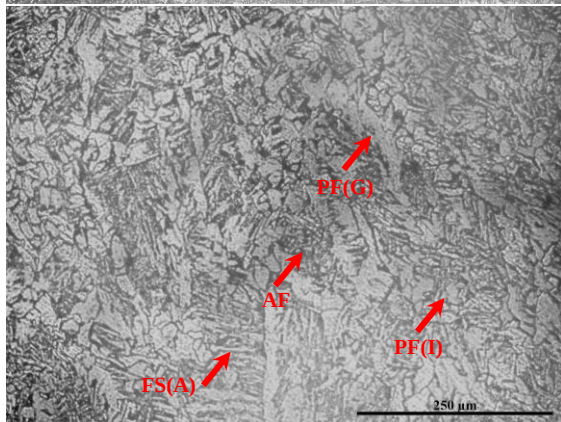
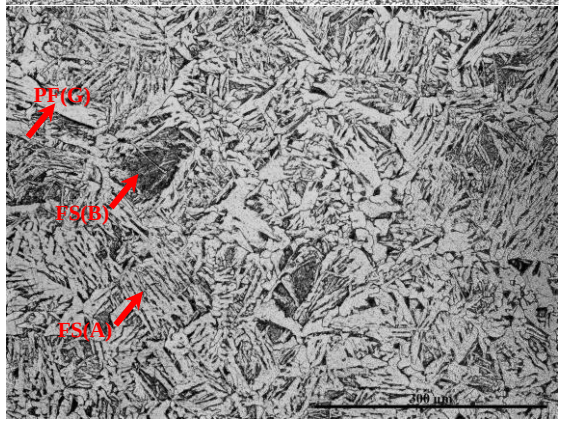
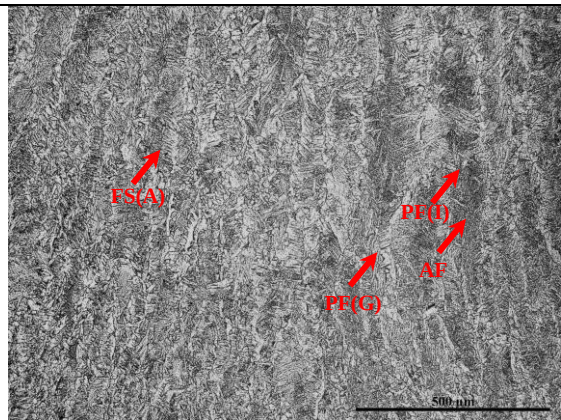
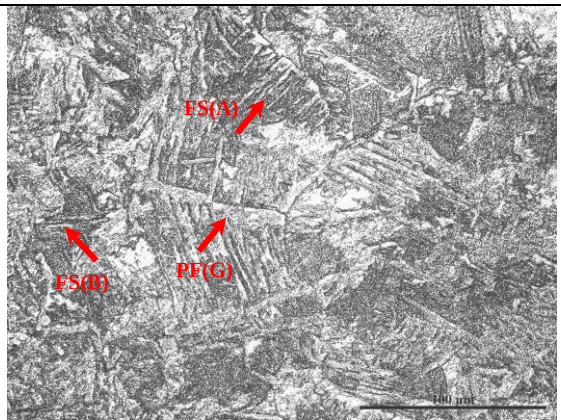
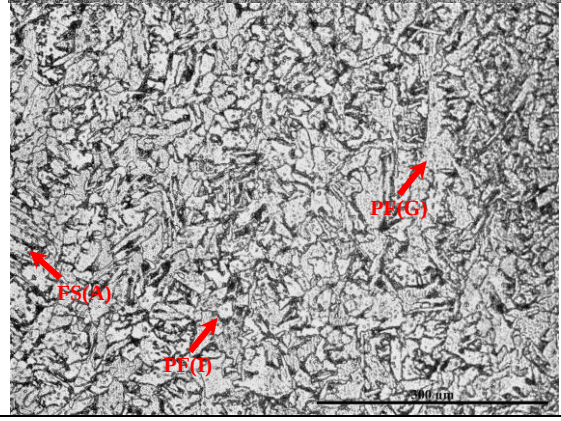
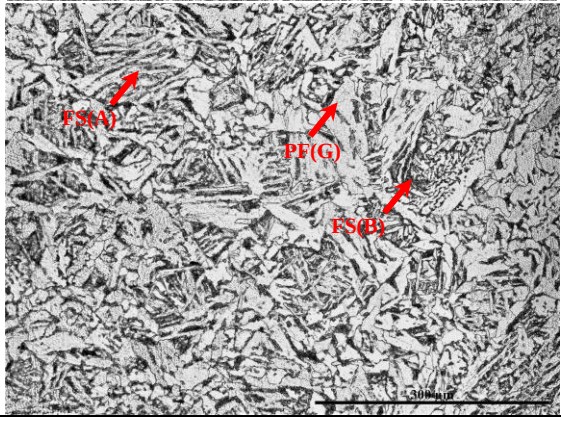
Zona	ZF	RGGZTA
Processo	Eletrodo Revestido	
Energia (kj/mm)		
1,0		
1,6		
Processo	MIG/MAG	
Energia (kj/mm)		
1,0		
1,6		

Figura 6. Comportamento microestrutural da zona fundida e RGGZTA do implante (CA50). 300X. Nital 2%

O detalhe da microestrutura do implante se refere ao centro do vergalhão, visto que este foi usinado do diâmetro inicial de 10 mm para 6 mm (linha tracejada) perdendo com isso as camadas mais exteriores e mais duras. Essa microestrutura concorda com Araújo (2010). São considerados neste trabalho apenas a análise da ZTA do implante (CA50). Na ZTA é avaliada a região de grão grosso (RGGZTA).

Observando-se as microestruturas da ZF dos ensaios, percebe-se que, independente da energia de soldagem, há formação de PF(G), AF, PF(I) e FS(A), com maior predominância de PF(G) e FS(A). O comportamento das microestruturas da RGGZTA são semelhantes, mesmo com diferentes energias de soldagem, entretanto nota-se uma redução da PF(G) e FS(A) e a presença de Perlita. O aumento da energia de soldagem também contribui para o refinamento da microestrutura. Embora, a PF(G) não seja muito frágil, pode favorecer a propagação da trinca de hidrogênio por ser um microconstituente que geralmente se encontra entre microestruturas de maior resistência e maior fragilidade que não suportam as deformações decorrentes da concentração de tensão.

No resfriamento da ZF a austenita torna-se instável e decompõe-se em novos constituintes que dependem da taxa de resfriamento e da composição química e que irão ditar as propriedades mecânicas da junta soldada. Para o resfriamento muito lento a transformação envolve o processo de difusão e toda a austenita se transforma em ferrita, perlita ou bainita. Entretanto, no resfriamento rápido, o processo de transformação deixa de ser por difusão e o microconstituente austenita se transforma em martensita, podendo ocorrer que alguma porcentagem de austenita permaneça estável à temperatura ambiente (Martins et al., 2010). A elevação na energia de soldagem promoveu aumento de FP(G) e surgimento de FP(I), havendo a ocorrência da redução no percentual de AF, sendo isto uma consequência da redução da taxa de resfriamento da ZF, isto porque taxas lentas de resfriamento induzem a difusão do carbono que promove a nucleação de ferrita primária no interior dos grãos austenítico gerando FP(I) ou nos contornos dos grãos gerando FP(G). Conforme o descrito, observa-se que a elevação da energia de soldagem promoveu redução na taxa de resfriamento da ZF e o surgimento de microestruturas mais macias.

3.1. Microdureza

Na Tabela (4) são mostrados os valores médios de microdureza na ZF, RGGZTA (implante) e no MB (implante). As microdurezas foram tiradas nas regiões mostradas na Fig. (7). O comportamento de microdureza mostra, de acordo com a Fig. (8), que a dureza na RGGZTA é maior do que nas demais regiões.

Tabela 4. Média das microdurezas nas diferentes regiões da junta soldada

Energia de soldagem (kJ/mm)	I1: 1,67 (DP)	I2: 1,00 (DP)	I3: 1,50 (DP)	I4: 1,05 (DP)
Processo de soldagem	Eletrodo Revestido		MIG/MAG	
ZF	189 (7,07)	234 9 (5,05)	161 (2,17)	182 (6,23)
RGGZTA	217 (6,86)	250 (4,62)	204 (5,95)	225 (9,76)
MB	136 (3,25)	136 (3,25)	136 (3,25)	136 (3,25)

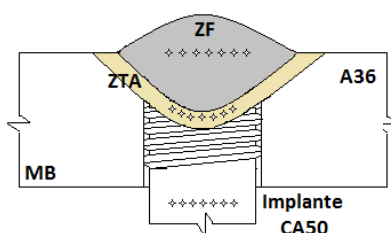


Figura 7. Regiões de onde foram tiradas as durezas

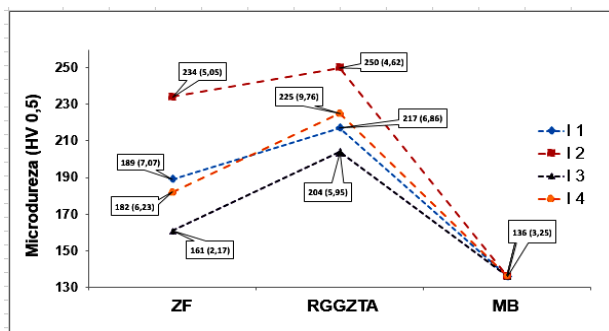


Figura 8. Comportamento das microdurezas na junta soldada

Da análise do comportamento das microdurezas apresentadas nos ensaios, se observa uma dureza média na RGGZTA de 204Hv a 250Hv, na ZF de 1618Hv a 234Hv e no MB sem muita variação da ordem de 186 Hv. Na retirada das microdurezas observou-se um pequeno grau de dispersão nas medidas realizadas (mostradas nos valores do desvio padrão entre parênteses), atribuído a heterogeneidades estruturais em consequência de regiões que se recrystalizaram ou não.

Comparando os perfis de dureza observa-se que os ensaios I2 (ER) e I4 (MIG), apresentaram as maiores durezas, nas condições de menores energias de soldagem. Esses resultados demonstram que o decréscimo da ductilidade se deve a transformação da martensita na RGGZTA numa estrutura perlita-ferrítica de grãos grosseiros, associada com uma diminuição da dureza da estrutura martensita. Isso se deve ao fato de que a energia de soldagem imposta, com velocidade de resfriamento lento, devido à baixa perda de calor por condução através do vergalhão, impossibilitou a formação de uma microestrutura tipicamente martensita.

Sabe-se que uma microestrutura de elevada dureza (> 350 Hv) aumenta a possibilidade de surgimento da TH. Além de sua menor ductilidade e tenacidade, esta microestrutura reduz a capacidade de acomodação das tensões na região da solda. Logo, uma microestrutura macia é capaz de tolerar, sem trincar, uma maior quantidade de hidrogênio que as mais duras. As microestruturas resultantes da soldagem dependem da temperabilidade, da taxa de resfriamento e dureza. A martensita, microestrutura de baixa tenacidade, é a mais sensível a TH, quando saturada em hidrogênio e consideravelmente frágil.

Da análise preliminar dos resultados deste trabalho verifica-se a não formação da TH devido a baixa dureza obtida na RGGZTA do implante.

3.2. Implantes

Na Tabela (5) podem ser vistos os resultados dos ensaios com diferentes energias de soldagem e cargas aplicadas.

Tabela 5. Resultados dos sinais de EA.

Ensaio	Processo de soldagem	E (kJ/mm)	C (kgf)	Resultado
I1	Eletrodo revestido	1,67	500	NT
I2		1,00	600	NT
I3	MIG/MAG	1,50	500	NT
I4		1,05	600	NT

Simbologia: E = Energia gerada no arco de soldagem; NT = Implante que não trincou; TR = Implante que trincou.

Da Tabela 5 observa-se o não trincamento dos implantes, comprovado pelas suas micrografias mostradas nas Figs. (9) e (10), soldadas com Eletrodo Revestido e MIG/MAG respectivamente.

O que se observa são faltas de fusão que ocorreram sempre na fronteira da RGGZTA/ZF da chapa de aço A36 e o implante. Esta falta de fusão se mantém em determinados momentos na direção da ZF, se mantendo na maioria das vezes na RGGZTA da chapa teste e se apresenta de pequeno tamanho. Observa-se que o ponto onde houve a falta de fusão da chapa com o implante, devido a folga entre eles, formou-se uma região de entalhe que, mesmo se caracterizando como um ponto de concentração de tensão, não gerou uma trinca. Este fato, juntamente com as durezas apresentadas, reforça a tese de não surgimento de trinca de hidrogênio. Para que ocorra uma TH são necessários que, simultaneamente ocorra a presença de hidrogênio, microestrutura favorável, tensão residual de tração e temperatura.

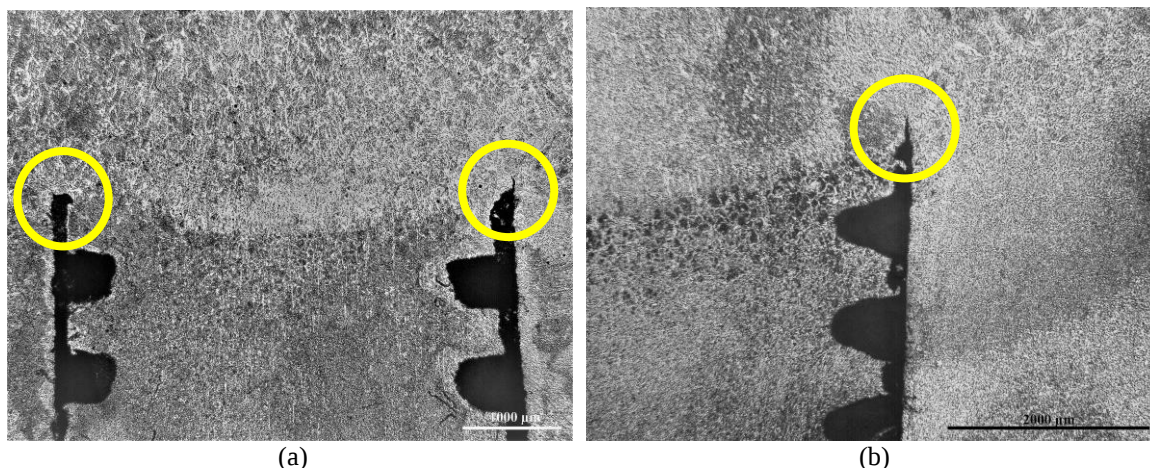


Figura 9. Falta de fusão na região de fronteira entre RGGZTA/ZF. ER. (a) Energia de 1,67; (b) Energia 1,00 kJ/mm respectivamente

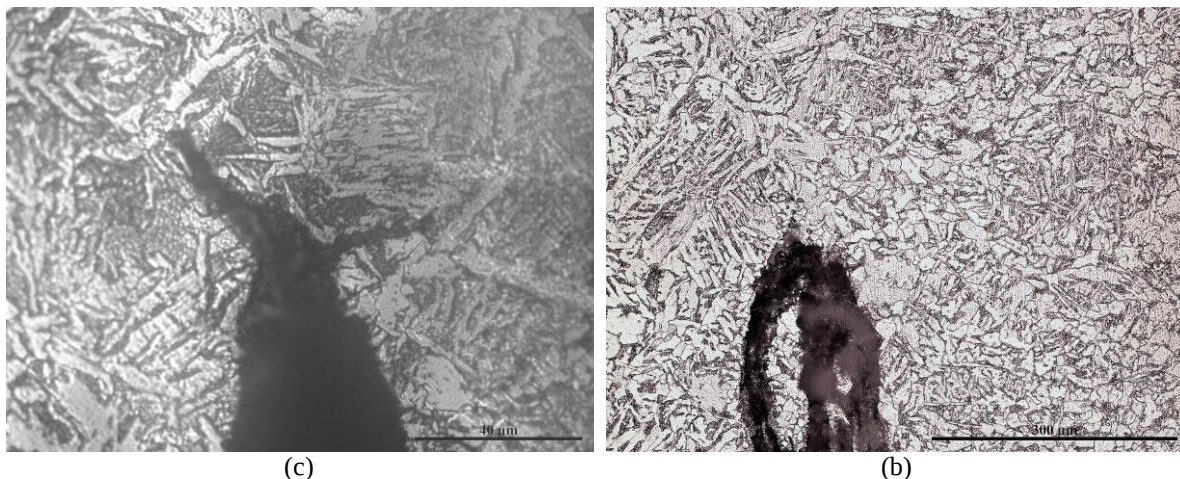


Figura 10. Falta de fusão na região de fronteira entre RGGZTA/ZF. MIG/MAG. (a) Energia de 1,50; (b) Energia 1,05 kJ/mm respectivamente

3.3. Geometria da junta

Na Figura (11) podem ser vistas as macrografias das juntas soldadas. Nelas se observa que não houve nenhum tipo de descontinuidade, estando, portanto, de acordo com as normas vigentes de soldagem para este tipo de material.

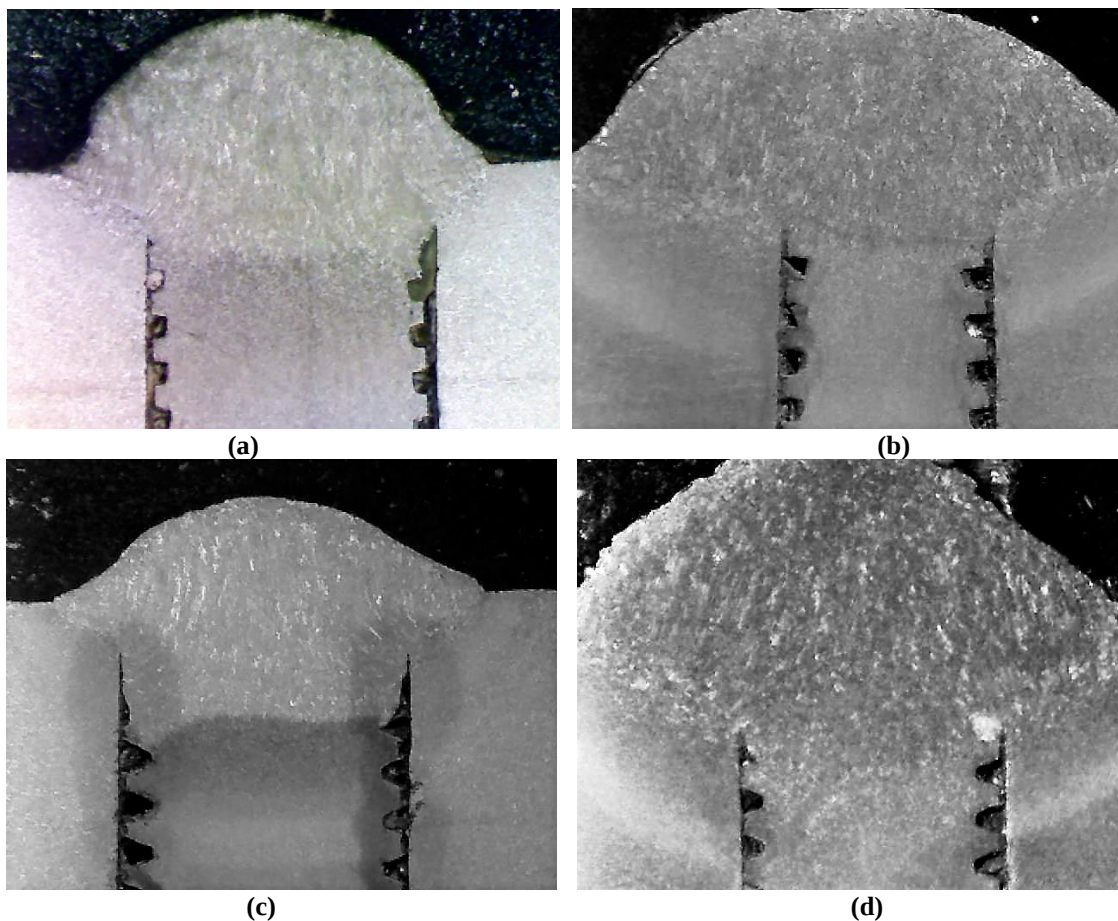


Figura 11. Geometria dos cordões de solda. Sem presença de descontinuidade nos processos de soldagem utilizados. (a) I1; (b) I2; (c) I3; (d) I4

4. CONCLUSÕES

- Nenhuma trinca ocorreu no implante. O que se observou foi a falta de fusão gerada sempre na fronteira da RGGZTA/ZF da chapa teste e o implante;

- A baixa carga aplicada no implante e o material diferente da chapa teste influenciaram na formação de microestruturas macias capazes de tolerar o hidrogênio sem trincar;
- As microestrutura da ZF e da RGGZTA dos implantes, independente da energia de soldagem, foram iguais e apresentaram a formação de PF(G), AF, PF(I) e FS(A), com maior predominância de PF(G) e FS(A).
- A microestrutura macia e de baixa dureza (o máximo obtido foi de 250 Hv) impossibilitaram o surgimento da TH.
- Comparando os perfis de dureza observa-se que os ensaios I2 (ER) e I4 (MIG), apresentaram as maiores durezas, nas condições de menores energias de soldagem. Isto se deve ao fato de que o decréscimo da ductilidade se deve a transformação da martensita na RGGZTA numa estrutura perlita-ferrítica de grãos grosseiros, associada com uma diminuição da dureza da estrutura martensita.

5. AGRADECIMENTOS

Ao IFMA/Monte Castelo pelo financiamento desta pesquisa com bolsa de estudo.
Ao LTPSolda pela realização dos ensaios e apoio ao desenvolvimento deste trabalho

6. REFERÊNCIAS

- Boellinghaus, T., Viyanit, E., Zimmer, P. "Cold Cracking Tests". Revision, IIW – Doc. Nº II-A- 111.03-Revision 6. 2010. Disponível em: <http://www.china-weldnet.com/English/information/II-1587-06.htm>. Acessado em 03 de agosto de 2016.
- Fortes, C.; Araújo, W., 2005, "Aramas tubulares OK". São Paulo: ESAB BR, 101p.
- International Institute of Welding, 1988, "Guide to the Light Microscope Examination of Ferritic Steel Weld Metals". IIW. Doc. No IX-1522-88 IXJ-123-87 Revision 2, June.
- Quites, A.M., 2002. "Introdução à soldagem a arco voltaico". Florianópolis. Soldasoft.
- Kou, Sindo., 2003, "Welding Metallurgy". 2nd ed. United States of America: John Wiley & Sons, 466 p.
- Martins, W. dos P., et al., 2008, "Influência da variação da energia de soldagem e Temperatura de pré-aquecimento no comportamento Microestrutural e mecânico de juntas soldadas em aço Arbl." VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brasil.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

USE OF THE IMPLANT TEST FOR EVALUATION OF HYDROGEN CRACK IN STEEL WELD RC50

Waldemir dos P. Martins, waldemir@ifma.edu.br¹
Victor H.B Santos, victor.hbs@hotmail.com¹
Roberta A.L. Vieira, roberta_adrielle15@hotmail.com¹
Valdemar S. Leal, valdemar@ifma.edu.br¹
José Ribamar Pereira, ribamar2074@gmail.com²

Abstract: The steels when subjected to arc welding processes affect the structure of the material thermally. We can evaluate this behavior through the welding energy. In the welding of steel bars for reinforced concrete (RC), welding is of great use in the recovery and construction of reinforcements. The increase in the construction of the execution of seams with welding, using coated electrode and GMAW, led steel mills to develop weldable RC50 steel bars. One of the current problems in the use of these splits is due to the fact that the use of a fusion welding process involves the generation of thermal cycles that lead to changes in the state of tension, microstructure and properties in the molten zone (MZ) and in the heat affected zone by heat (HAZ), and then we have the occurrence of cracks. Hydrogen cracking (HC) is one of the most serious and persistent defects found in welding high carbon steels and microalloyed steels, and refers to the loss of ductility of the material, usually as soon as the welding is finished. However, HC may also occur later, within 48 hours after Welding. The dangerous behavior of HC is complex to be understood and originates, among other factors, when the cooling of the joint reaches the temperature region between 150 ° C and -100 ° C. In this way, to evaluate if a material, when welded, is susceptible or not the HC, a test used for its understanding is the Implant test. In this way, this work presents a study of the hydrogen crack in the welding of structural steels RC50 with different welding energies and use of the Implant test.

Keywords: Implant test, welding energy, RC50 steel.