

## **CORRELAÇÃO ENTRE OS MODOS DE FRATURA NO TRINCAMENTO ASSISTIDO PELO HIDROGÊNIO E AS CARACTERÍSTICAS DO SINAL DE EMISSÃO ACÚSTICA EM JUNTAS SOLDADAS DE AÇO ARBL**

**Hipólito D.C. Fals**

Universidad de Oriente. Facultad de Ingenieria Mecánica / TCM  
Santiago de Cuba. 90400. Cuba

**Roseana E. Trevisan**

Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica / DEF  
CP 6122 CEP 13083-970 Campinas. SP. Brasil

***Resumo.** Neste trabalho é realizada uma correlação entre os diferentes modos de fratura que ocorrem no trincamento assistido pelo hidrogênio e as características do sinal de emissão acústica medida durante o processo de fratura. Para o desenvolvimento do trabalho foi usado um aço de alta resistência e baixa liga, soldado pelo processo de arame tubular, empregando um arame AWS E120T5-K4, de diâmetro 1,6 mm. Usou-se dois gases de proteção (  $CO_2$  e  $CO_2 + 5\% H_2$  ), para obter uma completa caracterização do fenômeno. Foi aplicado ainda, o ensaio de implante modificado com três níveis de tensão de restrição. Um sistema de medição de sinal de emissão acústica (SMEA) baseado num voltímetro RMS (Root Means Square), foi acoplado a instalação de implante modificado. As superfícies de fratura foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e medidas com a técnica de análises de imagens. As áreas relativas características de cada modo, foram correlacionadas com a tensão aplicada em cada condição e também com a somatória do número de eventos, da amplitude e da energia do sinal medido pelo SMEA. Observou-se a formação dos modos de fratura por Coalescência de Microvazios (CMV), Intergranular (IG) e Quase-clivagem (QC), os quais variaram sua área em dependência da tensão aplicada e o gás usado. Os resultados mostraram que as características do sinal de EA, depende fortemente dos modos de fratura que operam no fenômeno de trincamento.*

***Palavras-chave:** Soldagem, Trinca por hidrogênio, Modos de fratura, Emissão Acústica*

### **1. INTRODUÇÃO**

O processo de soldagem chamado como arame tubular, combina versatilidade e alta produtividade, porém tem alcançado alta aplicação industrial. Este processo também apresenta níveis de hidrogênio potencial relativamente baixo, como são os valores de 0,99 a 7,26 ml/100g, observados por Nippes & Xiong (1988). No entanto, estes valores podem apresentar grande influência no trincamento assistido pelo hidrogênio na medida que aumenta o limite de resistência dos aços Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL) e a microestrutura fique comprometida produto do processo de soldagem.

No fenômeno de trincamento assistido pelo hidrogênio, as trincas crescem baseadas em diferentes micromecanismos e modos de fratura, os quais podem ser coalescência de microvazios (CMV), Quase-clivagem (QC) e Intergranular (IG). Estes modos de fratura atuam dependendo de fatores como microestrutura da região, concentração de tensões na ponta da trinca e concentração de hidrogênio, como explica corretamente o modelo de microplasticidade proposto por Beachem (1972).

Foi observado por Vasudevan, Stout & Pense (1981), através do uso do ensaio de implante em juntas soldadas de aço ARBL, que o modo de fratura IG foi predominante para baixa concentração de tensões, já para altos valores do fator de intensidade de tensões os modos QC e CMV aconteceram com maior intensidade, esta observação está coerente com o modelo de Beachem. Também Yurioka & Suzuki (1990), corroboraram este modelo, e usaram o diagrama de Beachem, para explicar o que acontece com os modos de fratura em uma junta soldada livre de restrição e no ensaio de implante (restrição externa), ficando claro que nos ensaios de restrição externa os modos de fratura por CMV e QC predominam para altos valores do fator de intensidade de tensão.

Apesar que a relação entre os modos de fratura, tensão e nível de hidrogênio, resultante do modelo de microplasticidade é aceita de forma geral, Gedeon & Eagard (1990), encontraram que para maiores níveis de hidrogênio aos analisados por Beachem (1972), o modo de fratura IG era predominante para altos valores do fator de intensidade de tensões.

A técnica de Emissão Acústica vem sendo estudada nas últimas três décadas, utilizadas principalmente no monitoramento de estruturas mecânicas em ensaios não destrutivos (NDT), fundamentalmente direcionado ao fenômeno de crescimento de trincas. Segundo Liu & Kannatey-Asibu (1990) e outros autores a técnica de monitoramento via EA apresenta um grande potencial de aplicação no campo industrial, devido às várias vantagens, tais como o baixo custo, alta sensibilidade, flexibilidade de montagem, robustez, pequeno tamanho do sensor, simples instalação e processamento de sinal.

Durante a formação e crescimento de trincas são geradas ondas acústicas que devem ser captadas pelo sistema de medição de emissão acústica (SMEA), convenientemente configurado dependendo do fenômeno físico que se estuda. Os sinais de EA podem ser analisados no domínio da frequência ou do tempo. A análise no domínio do tempo, pode ser feita através de medidas de alguns parâmetros, tais como: número de picos e taxa de número de picos, desvio padrão, análise da distribuição de amplitude, voltímetro RMS (*Root Mean Square*), etc. (Beattie, 1983).

Fang, Asibu & Baber (1995), utilizaram um SMEA para detectar a formação e propagação de trincas assistidas pelo hidrogênio em um aço ARBL, e comprovaram que o espectro de frequência ficou concentrado em torno de 200 kHz e, no domínio do tempo, o sinal EA devido a propagação da trinca apresentou uma duração de aproximadamente 3 milissegundos. Deve ficar claro que nesta pesquisa predominou sempre o modo de fratura por QC.

Carpenter & Smith (1990), determinaram as características do sinal de EA gerado pelo trincamento intergranular, em aços AISI 304, sensitizados.

Trevisan & Ferraresi (1998), usaram um SMEA baseado num voltímetro RMS, para detectar o instante de formação e crescimento de trincas de reaquecimento em juntas de um aço ARBL.

Neste trabalho é realizada uma correlação entre as áreas dos modos de fratura do trincamento assistido pelo hidrogênio e as características do sinal de EA.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para o desenvolvimento do trabalho usou-se um aço de alta resistência e baixa liga temperado e revenido, com composição química e propriedades mecânicas mostradas na Tabela 1. Empregou-se o processo de arame tubular, e o arame T-120 (AWS E120 T5-K4).

O insumo de calor foi mantido constante, sendo de 0,659 kJ/mm para todas as experiências. Foram usados como gases de proteção CO<sub>2</sub> puro e uma mistura especial de CO<sub>2</sub> + 5 % de H<sub>2</sub>. A adição de 5% de H<sub>2</sub> ao CO<sub>2</sub> objetivou, induzir altos níveis de hidrogênio difusível na poça fundida e com isto condições apropriadas para o trincamento assistido pelo hidrogênio.

Tabela 1. Composição química (%) e propriedades mecânicas do material.

| C                       | Mn   | Ni    | Cr                          | Si   | Cu   | P             | S     | Mo   | V           | Ti    | Al    |
|-------------------------|------|-------|-----------------------------|------|------|---------------|-------|------|-------------|-------|-------|
| 0,12                    | 0,99 | 0,015 | 0,52                        | 0,20 | 0,26 | 0,03          | 0,007 | 0,34 | 0,029       | 0,007 | 0,026 |
| Limite Escoamento (MPa) |      |       | Limite de Resistência (MPa) |      |      | Elongação (%) |       |      | Dureza (Hv) |       |       |
| 750                     |      |       | 805                         |      |      | 19,6          |       |      | 275         |       |       |

### 2.1. Análises do Hidrogênio Difusível

As análises de hidrogênio difusível, foram realizadas no laboratório de Soldagem & Técnicas Conexas da UFRGS, usando o método de Cromatografia Gasosa, em um cromatógrafo Oerlinkon. Yanaco. Modelo GS-1006H, conforme ISO 3690 e ANSI/AWS A4.3-86. Os resultados médios dos valores de hidrogênio difusível para cada condição experimental são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de hidrogênio difusível para cada gás

| Arame/Gás | Valores médios de H <sub>2</sub> ml/100 g(DM) |  |
|-----------|---|--|
|           | CO <sub>2</sub>                               | CO <sub>2</sub> + 5% de H <sub>2</sub> |
| T-120     | 7,23  | 22,37                                  |

### 2.2. Ensaio de Implante Modificado

O ensaio de implante foi realizado usando como referência o procedimento da norma Francesa NF A 89-100 (*Cold Cracking Test*), utilizando o entalhe helicoidal no implante para garantir repetibilidade nos ensaios. Na Fig. 1 é mostrado um esquema representativo da instalação usada.

No ensaio usou-se três níveis de restrição equivalente a 80 % (601MPa), 76 % (560 MPa) e 66 % (495MPa) do limite de escoamento do material, no caso do uso de CO<sub>2</sub> como gás de proteção e 66% (495 MPa), 57% (424 MPa) e 52 % (389 MPa) para quando usado CO<sub>2</sub> + 5% de H<sub>2</sub>. Durante a realização dos ensaios a tensão de restrição aplicada foi monitorada via placa A/D acoplada a um microcomputador, como se observa na Fig. 1.

Em todos os ensaios de implante a carga começou a ser aplicada sempre 1 minuto depois de ter realizado a solda, sendo que a temperatura equivalente para este tempo depende do gás usado como proteção. Quando usado CO<sub>2</sub>, depois de 1 minuto a junta soldada do implante com a placa base estava a 120 °C, no caso da mistura CO<sub>2</sub> + 5% H<sub>2</sub> a junta soldada estava a 150 °C, estes valores foram exatamente determinados através da análises dos ciclos térmicos obtidos experimentalmente.

Todas as áreas das superfícies de fratura foram estudadas e caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), para posteriormente ser corretamente analisadas e medidas pela técnica de análises de imagens.

### 2.3. Sistema de medição de emissão acústica (SMEA).Configuração

Um diagrama de blocos do SMEA acoplado à instalação de ensaio de implante aparece representado na Fig. 1.

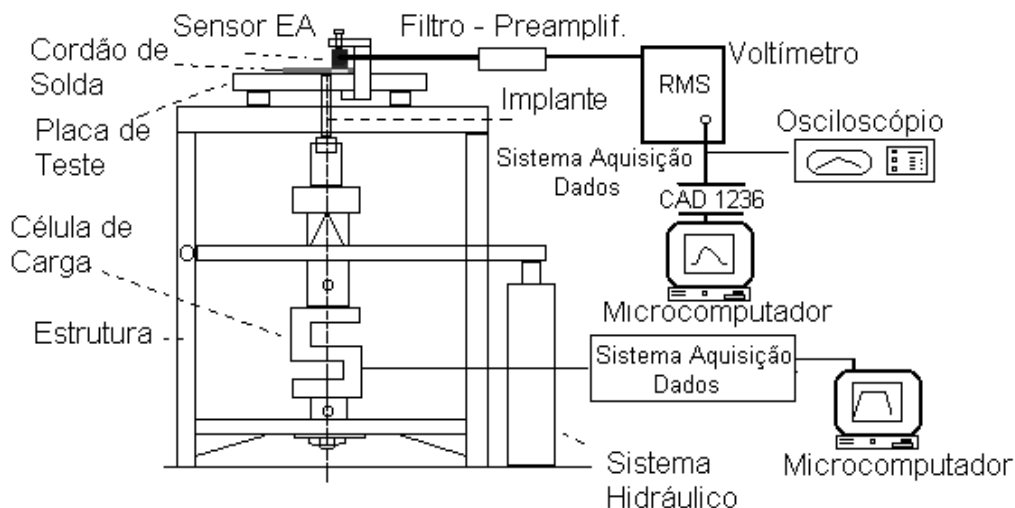


Figura. 1 Esquema representativo da instalação de implante modificado e os sistemas de monitoramento de carga e emissão acústica.

#### Configuração do SMEA

- Sensor de Emissão Acústica. WD-A23 de banda ampla, sensibilidade média de -73 dB referido a 1 volt (V) por microbar (ubar). Faixa de frequência de 100 até 1000 KHz.
- Filtro - preamplificador. Modelo 1220A, com filtro passa banda com frequência de corte de 100 a 300 kHz. Ganho de 40 dB
- Voltímetro RMS. Constante de tempo na saída do sinal de 0.10 ms (10 KHz)
- Placa CAD12/36 com taxa de amostragem de 100 KHz via DMA e ajuste do nível de referência (0,025 volt)
- Microcomputador PC- Pentium. 133 MHz, 32 Mb de memória RAM, 2,1 Gb de disco duro.
- *Software* **RUPTURA** para a aquisição dos eventos de emissão acústica. Com taxa de amostragem de 50 KHz.

### 3. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos no trabalho, mostraram que o aço ARBL usado quando soldado com o arame T-120, mostrou alta sensibilidade à formação e propagação das trincas induzidas pelo hidrogênio, isto devido a apresentar uma alta dureza na região de Crescimento de Grão da Zona Afetada pelo Calor (CGZAC) e uma microestrutura do metal de solda composta de martensita, bainita e ferrita acicular (AF).

Da análises por MEV das superfícies de fratura dos ensaios realizados, foi comprovada a existência dos modos de fratura CMV (Coalescência de microvazios), QC (Quase clivagem) e IG (Intergranular), em todas as amostras ensaiadas, como pode ser apreciado de forma representativa na Fig. 2. Os modos de fratura variaram sua extensão e

distribuição em dependência da tensão aplicada e o nível de hidrogênio como estabelece o modelo de Beachem (1972).

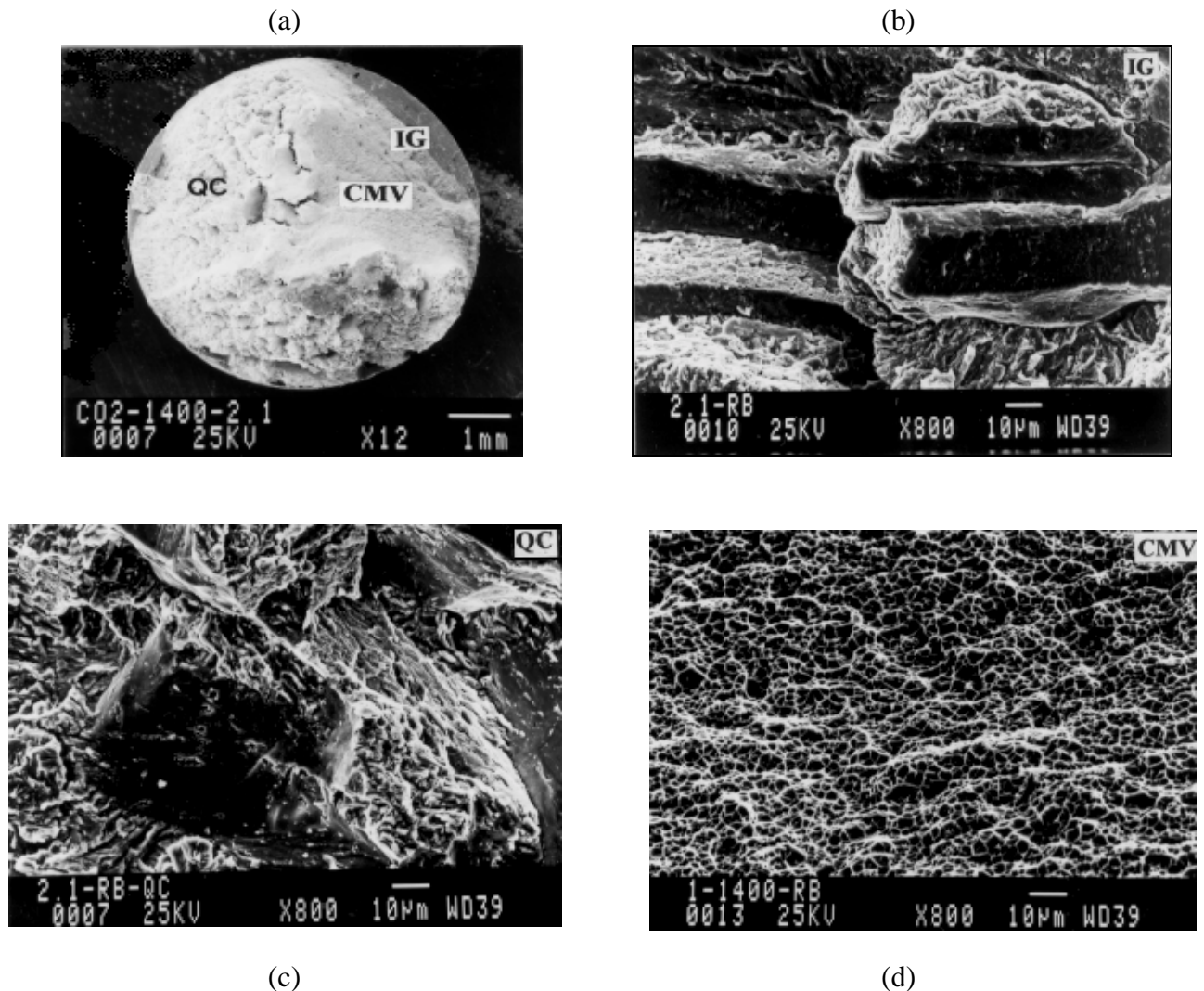


Figura 2. Modos de fratura presentes na superfície fraturada de um implante ensaiado usando 389 MPa e 22,37 ml/100 g. (a)- Fratografia geral da superfície. (b)- Modo CMV, (c)- Modo QC. (d)- Modo IG.

Após a caracterização por MEV dos diferentes modos de fratura e com ajuda da técnica de análises de imagens, foram medidas as porcentagens da área total da fratura que corresponderam a cada modo ou micromecanismo de fratura. Os valores médios equivalentes a cada modo de fratura, são mostrados na Tabela 3.

Os resultados da Tabela 3 mostram, como se constata também na Fig. 3, que nos ensaios donde usou-se CO<sub>2</sub> como gás de proteção, na medida que aumentou a tensão aplicada, as áreas de fratura por QC e IG diminuem, acontecendo o contrário com área de fratura por CMV. Isto está coerente com o diagrama do modelo de microplasticidade proposto por Beachem (1972).

Tabela 3 Valores médios das áreas percentuais pertencentes a cada modo de fratura, dependendo da tensão aplicada no ensaio.

| CO <sub>2</sub> |        |         |        |           | CO <sub>2</sub> + 5 % H <sub>2</sub> |        |         |        |           |
|-----------------|--------|---------|--------|-----------|--------------------------------------|--------|---------|--------|-----------|
| Tensão MPa      | QC (%) | CMV (%) | IG (%) | Mista (%) | Tensão MPa                           | QC (%) | CMV (%) | IG (%) | Mista (%) |
| 601             | 30,3   | 44,4    | 2,9    | 22,4      | 495                                  | 63,9   | 11,7    | 20,0   | 4,4       |
| 560             | 52,3   | 27,2    | 4,1    | 16,0      | 424                                  | 56,1   | 18,9    | 16,9   | 8,2       |
| 495             | 62,1   | 23,5    | 7,5    | 6,8       | 389                                  | 46,6   | 21,4    | 8,9    | 22,9      |

Por outro lado, como se observa também na Fig. 3, nos ensaios realizados com maior nível de hidrogênio (CO<sub>2</sub> + 5 % H<sub>2</sub>), constatou-se uma relação inversa ao modelo de Beachem (1972), entre a tensão e os modos de fratura. Em outras palavras, quando aumentou a tensão aplicada observou-se que aumentou a área de fratura por QC e IG e diminuindo a área de fratura por CMV. Este fenômeno ocorre muito provavelmente devido ao aumento no nível de hidrogênio, o que acarretou uma maior fragilidade do material. Na realidade, o aumento do nível de hidrogênio difusível, provoca que os átomos de hidrogênio gerem obstáculos para o movimento das discordâncias, ancorando as mesmas, porém diminuindo a zona microplasticidade na frente da trinca e favorecendo a formação dos mecanismos de fratura por QC e IG. Gedeon & Eagard (1990), também encontraram resultados semelhantes em sua pesquisa, observando que os valores de hidrogênio usados foram superiores aos avaliados por Beachem (1972).

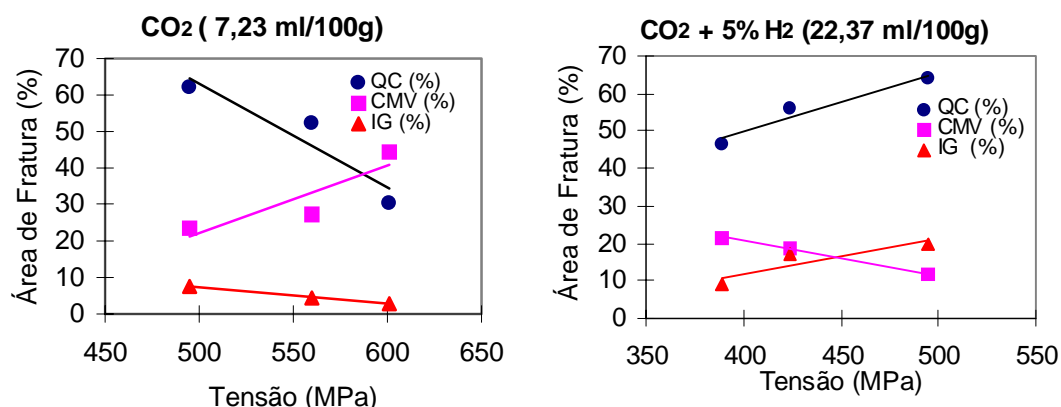


Figura 3. Relação entre as tensões aplicadas no ensaio de implante modificado e as áreas dos diferentes modos de fratura, para cada nível de hidrogênio difusível.

Os sinais de EA, detectados pelo SMEA foram de grande auxílio para a análise das características da fratura de cada condição experimental, isto foi possível correlacionando as áreas equivalentes a cada micromecanismo de fratura com os parâmetros característicos do sinal de EA, como são: a somatória do número de eventos, da amplitude e da energia do sinal.

Em todos os casos os sinais de EA, tiveram como característica geral a ocorrência de eventos de pequena amplitude antes do evento da fratura final, como se observa na Fig. 4, isto se deve a que a fratura provocada pelo fenômeno de trincamento assistido pelo hidrogênio, gera diferentes micromecanismos como já foi comprovado, porém o número de eventos e suas amplitudes correspondentes dependeram do modo de fratura predominante no desenvolvimento de fratura.

Na Fig. 4 se mostra de forma representativa, um gráfico característico do sinal de EA correspondente a instantes antes e durante a fratura, de um implante ensaiado usando uma tensão de 495 MPa e CO<sub>2</sub> + 5 % H<sub>2</sub> como gás de proteção. No detalhe, na Fig. 4 (A) pode observar-se uma ampliação na escala de amplitude, note-se na mesma a existência de 4 pequenos eventos antes do pico final da fratura de maior amplitude. Este número de eventos que pode ser considerado baixo para este tipo de mecanismo de fratura. Deve ficar claro que, nesta condição o modo de fratura QC foi predominante na superfície, como se observa na Tabela 3, provocando a pouca atividade acústica observada no gráfico.

Existem outros autores como Fang, Asibu & Barber (1995), que observaram a não existência de eventos de EA de menor amplitude, prévios à fratura final de um corpo de prova, provocado por uma fratura totalmente por QC nos experimentos realizados.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos parâmetros pertencentes ao sinal de EA, relacionados com as áreas de fratura do modo de CMV obtido em cada condição experimental, para cada gás de proteção usado. Os resultados experimentais da Tabela 4 mostram claramente que quando aumentou a área fratura por CMV, ocorreu o incremento da somatória do número de eventos, da energia e da amplitude dos sinais de EA.

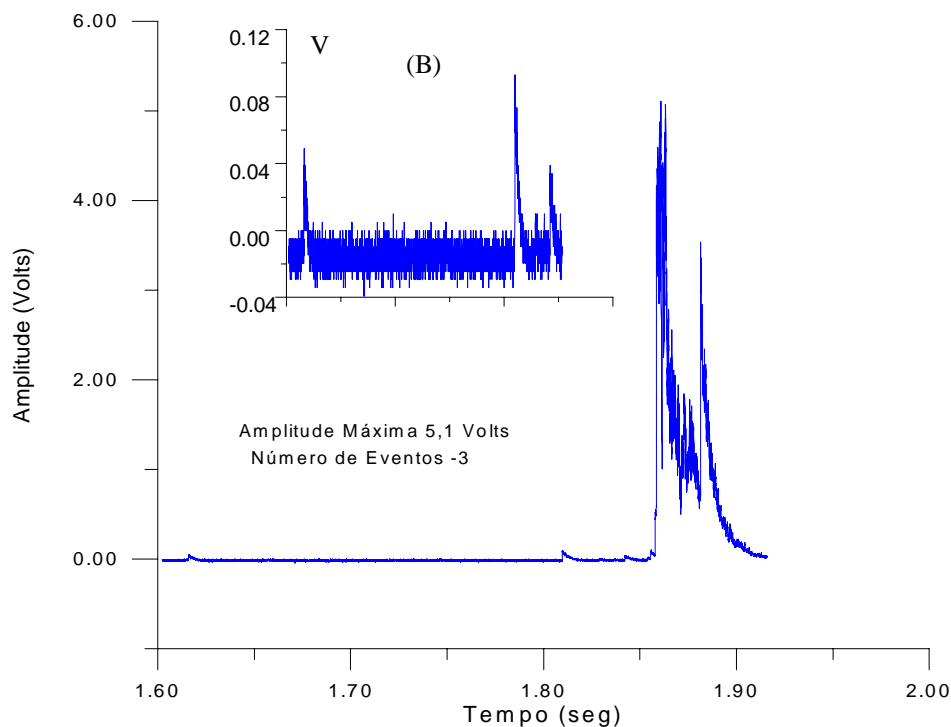


Figura 4. Parte representativa do sinal de EA gerado em um ensaio com 495 MPa de tensão aplicada e CO<sub>2</sub> + 5% H<sub>2</sub> como gás de proteção. (B). Parte representativa do sinal de EA, ampliada na escala de amplitude.

Tabela 4. Relação entre a área de CMV com os parâmetros do sinal de EA.

| Área CMV (%) | CO <sub>2</sub>      |  |                           | CO <sub>2</sub> + 5% H <sub>2</sub> |                      |  |                           |
|--------------|----------------------|--|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|--|---------------------------|
|              | Soma. Número Eventos | Soma. Energia Média (V <sup>2</sup> s) | Soma. Amplitude Média (V) | Área CMV (%)                        | Soma. Número Eventos | Soma. Energia Média (V <sup>2</sup> s) | Soma. Amplitude Média (V) |
| 44,39        | 12                   | 0,104                                  | 9,99                      | 11,66                               | 4                    | 0,042                                  | 4,94                      |
| 27,24        | 10                   | 0,092                                  | 8,80                      | 18,87                               | 7                    | 0,047                                  | 7,35                      |
| 23,57        | 4                    | 0,056                                  | 6,59                      | 21,38                               | 8                    | 0,067                                  | 8,36                      |

Da análises dos resultados mostrados na Tabela 4, também pode observar-se que nos experimentos realizados com maior nível de hidrogênio ( $\text{CO}_2 + 5\% \text{H}_2$ ), existiu de forma geral menor atividade acústica. Isto esteve relacionado com o predomínio do modo de fratura QC (Tabela 3), nos ensaios realizados com maior nível de hidrogênio, já este modo de fratura gera pouca deformação plástica durante o fenômeno de fratura (Fang, Asibu & Barber, 1995).

Na Fig. 5, aparecem correlacionados os valores das áreas de fratura por CMV com a energia e amplitude média do sinal de EA. O aumento dos parâmetros do sinal de EA, observado no gráfico, para maiores áreas de CMV, esteve associado diretamente ao crescimento da microdeformação plástica produto da coalescência de microvazios que caracteriza este modo de fratura.

No entanto, comparando as características do sinal de EA resultante dos ensaios realizados com tensão de 495 MPa, aplicada para ambos gases, pode observar-se na Tabela 4 que a pesar que a área média do modo CMV foi menor quando usado  $\text{CO}_2 + 5\% \text{H}_2$  como gás de proteção, existe igualdade no número de eventos do sinal; mas a energia e amplitude apresentam menores valores.

O resultado anterior provavelmente foi causado pelo aumento da área de fratura IG obtido nesta condição experimental. Esta comprovado que o aumento deste modo de fratura gera um incremento do número de eventos do sinal de EA; porém estes eventos apresentam baixa energia e amplitude (Carpenter & Smith, 1990), quando comparado com o sinal gerado pelo modo de fratura CMV.

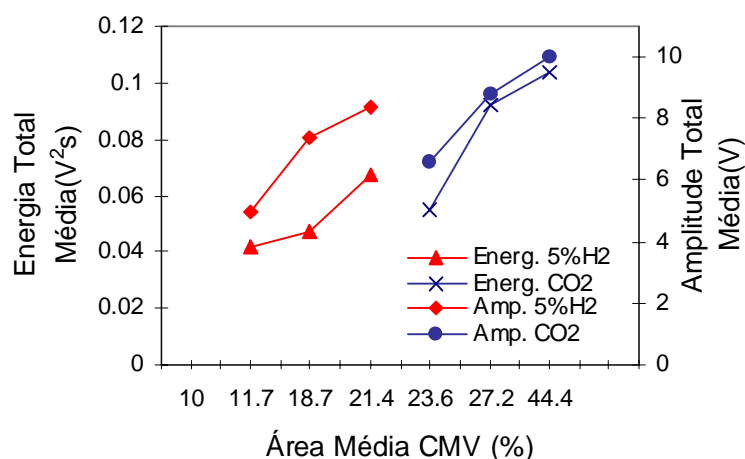


Figura 5. Correlação entre o modo de fratura por CMV a energia e amplitude média do sinal de EA.

#### 4. CONCLUSÕES

Comprovou-se a alta susceptibilidade ao trincamento assistido pelo hidrogênio do aço ARBL estudado quando soldado pelo processo de arame tubular e o arame T-120.

As áreas relativas de cada modo de fratura foram medidas e correlacionadas com a tensão aplicada no ensaio de implante, para cada nível de hidrogênio usado. Para o menor nível de hidrogênio obteve-se um comportamento que comprova o modelo de microplasticidade proposto por Beachem, não acontecendo o mesmo quando foi aumentado o nível de hidrogênio nos ensaios.

O sinais de EA provocados ao trincamento assistido pelo hidrogênio foram medidos e caracterizados. Obteve-se uma boa correlação entre as áreas dos modos de fratura e os



parâmetros do sinal de EA. Nas superfícies de fratura que predominou o modo por CMV, obteve-se um aumento na somatória da energia, amplitude e número de eventos do sinal de EA.

### ***Agradecimentos***

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do trabalho.

## **5. REFERÊNCIAS**

- Beachem; C.D., 1972, A New Model for Hydrogen-Assisted Cracking (Hydrogen Embrittlement); Metallurgical Transactions; v. 3; february; p.437.
- Beattie, A.G., 1983, Acoustic Emission, Principles and Instrumentation. Journal of Acoustic Emission, Vol. 2. pp. 95-128.
- Carpenter, S. H. & Smith, D.R., 1990, The Effect of Cathodic Charging on the Acoustical Emission Generated by Intergranular Cracking in Sensitized 304 Stainless Steel, Metallurgical Transactions A, v. 21 A, July, p.1933.
- Fang C.K.; Kannatey-Asibu E. & Barber J.R., 1995, Acoustic Emission Investigation of Cold Cracking in Gas Metal Arc Welding of AISI 4340 Steel; Welding Journal; June; p.178s.
- Trevisan R. E. & Ferraresi ; V. A., 1998, Acoustical Emission Investigation of Weld-Reheat Cracking in High Strength Low Alloy Steel, 79<sup>th</sup> AWS Annual Meeting, AWS Convention, Detroit, Michigan.
- Gedeon; S.A. & Eagar; T.W., 1990, Assessing Hydrogen-Assisted Cracking Frature Modes in High-Strength Steel Weldments; Welding Journal, June; 213s.
- Nippes, E.F.& Xiong, D.J., 1988, Investigation of Hydrogen-Assisted Cracking in FCA Welds on HY-80 Steel, Welding Journal, June, p. 132s.
- NF A 89-100, 1982, Cold Cracking Test Methods Using Implants; April.
- Liu, X. & Kannatey-Asibu, Jr., 1990, Classification of AE Sinals for Monitoring Martensite Formation from Welding, Welding Journal, October. p. 389s.
- Yurioka. N. & Suzuki. H., 1990, Hydrogen Assisted Cracking in C-Mn and Low Alloy Steel Weldment; International Materials Reviews; Vol. 35; n. 4.

## **CORRELATION AMONG THE FRACTURE MODES AND ACOUSTIC EMISSION IN HYDROGEN-ASSISTED CRACKING OF HSLA STEEL WELDMENTS**

**Abstract.** The aim of the present paper is to study the relationship between the fracture modes in hydrogen-assisted cracking (HAC) in high-strength low alloy steel and the emission of acoustic signals during the fracturing process. For this reason, a flux-cored arc weld (FCAW) was used in a high-strength low-alloy steel. The products used were the commercially available (AWS E120T5-K4) and had a diameter of 1.6 mm. Two different shielding gases were used ( $\text{CO}_2$  and  $\text{CO}_2+5\% \text{H}_2$ ) to obtain complete phenomenon characterization. The implant test was applied with three levels of restriction stresses. An acoustic emission measurement system (AEMS) was coupled to the implant test apparatus. The output signal from the acoustic emission sensor was passed through an electronic amplifier and processed by a root mean square (RMS) voltage converter. Fracture surfaces were examined by scanning electron microscopy (SEM) and image analyses. Fracture modes were related with the intensity, the energy and the number of the peaks of the acoustic emission signal. The shielding gas  $\text{CO}_2+5\% \text{H}_2$  proved to be very useful in the experiments. Basically, three different fracture modes were identified in terms of fracture appearance: microvoid coalescence (MVC), intergranular (IG) and quasi-cleavage (QC). The results show that each mode of fracture presents a characteristic acoustic signal.

Key words: Welding, Hydrogen cracking, Fracture Modes, Acoustic emission