

ANÁLISE DA TENACIDADE AO IMPACTO DO AÇO CARBONO SOLDADO COM ARAME TUBULAR AWS E71T-1¹

José Mauro Moraes Junio²

Maria Ismênia Sodero Toledo Fari³

Priscila Renata dos Santos dos Anjo⁴

Rafael Machado Norbert⁴

Resumo

Foi realizada uma avaliação da tenacidade ao impacto de uma junta de aço carbono soldada com arame tubular AWS E71T-1. Para tal foi soldada uma junta de 55 mm de espessura, material ASTM A516 Gr.70, na posição vertical ascendente. A junta soldada foi dividida em 3 partes, sendo que a Parte 1 foi mantida como soldada, a Parte 2 foi tratada termicamente a 630°C com um ciclo de 2 h e 30 min, e a Parte 3 a 630°C mas com um ciclo de 2 h e 30 min mais dois ciclos de 4 h. Foi realizado ensaio de impacto Charpy-V nas 3 partes, e os resultados foram comparados. Além disso, foi realizada avaliação metalúrgica da região fraturada dos corpos de prova, objetivando avaliar possíveis mudanças microestruturais resultantes do TTAT que poderiam influenciar na energia absorvida no ensaio de impacto. Foi verificado que a tenacidade após tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT) no metal de solda atingiu valores satisfatórios, visto que não foram detectadas a presença de precipitados de Nb e V, que poderiam influenciar no decréscimo da mesma. Os valores de dureza tiveram uma pequena queda, conforme aumentava o tempo em que o material permanecia sobre o TTAT, levando a um aumento da ductilidade do material.

Palavras-chave: TTAT; Tenacidade; Solda; AWSE71T-1.

ANALYSIS OF THE IMPACT TO TOUGHNESS OF CARBON STEEL WELDED WITH WIRE TUBULAR AWS E71T-1

Abstract

It was performed an assessment of the impact toughness of a joint carbon steel welded with tubular wire AWS E71T-1. For this purpose was welded a joint of 55mm thickness, ASTM A516 Gr.70 material, in a vertically upwards. The welded joint was separated into 3 parts, whereby the Part 1 was maintained as welded, Part 2 was treated heated at 630°C with a cycle of 2 h and 30 min, and the Part 3 heated at 630°C but with one cycle of 2 h and 30 min plus two cycles of 4 h. It was performed a Charpy impact test-V in a 3 parts, and the results will be compared. In addition, metallurgical evaluation it was conducted in the region of the fractured specimens, in order to evaluate possible micro structural changes resulting from PWHT that could influence the energy absorbed in the impact test. It was observed that the toughness after heat treatment for setree relief (PWHT) in the weld metal reached satisfactory values, since not detected the presence of precipitated Nb and V, which could influence the decrease thereof. The hardness values were slightly fall with increase in time at wich the material remained on the PWHT, leading to increased ductility of the material.

Key words: TTAT; Toughness; Weld; AWSE71T-1.

¹ *Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *Eng. Metalúrgico, Mestre em Eng. de Materiais, TenarisConfab, Pindamonhangaba, Brasil.*

³ *Drª em Eng. Metalúrgica e Materiais, Profª. Associada, Fatec, Pindamonhangaba, Brasil.*

⁴ *Graduando em Tecnologia em Metalurgia, Fatec, Pindamonhangaba, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O aço carbono A516-Gr 70, é um material que proporciona boas propriedades mecânicas, como resistência e tenacidade. A norma regulamentadora para seleção de materiais aplicados em vaso de pressão indica a utilização de chapas de aço carbono de grande espessura, para aplicações em temperatura de serviço variando entre -45°C á 350°C , sendo a tenacidade desse material uma característica muito importante para a fabricação do equipamento.⁽¹⁾

Segundo Telles⁽²⁾ vasos de pressão podem ser definidos como todos os recipientes estanque sendo de qualquer dimensão, formato ou finalidade, como por exemplo, esfera de armazenamento de gases e trocadores de calor. Como a definição é muito ampla, o termo pode ser utilizado tanto para uma simples panela de pressão como para um reator nuclear. Desta forma, como a aplicação do material comporta altas pressões, a utilização de processos de soldagem para a união das partes é inevitavelmente. Daí a importância da qualidade da solda, que é conseguida através da utilização de material base e consumíveis de solda de qualidade, podendo assim garantir uma união permanente, combinando as propriedades de resistência mecânica e tenacidade.

Desta forma, o estudo da variação de propriedades mecânicas de juntas soldada do aço A516-GR70, é de elevado interesse por parte da indústria petrolífera para que se consiga obter alto grau de confiabilidade da qualidade de soldagem e uma melhor aplicação dos vasos de pressão.

O processo de soldagem com arame tubular FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) foi escolhido para este trabalho devido a seu alto rendimento, qualidade, versatilidade e produtividade. O processo conta com altas taxas de deposição de material, ausência de posição de soldagem e espessura mínima a ser soldada, e também apresentando juntas soldadas com menores dimensões da zona termicamente afetada (ZTA).

Sabe-se que o aquecimento instantâneo e muito localizado ocorrido durante o processo de fusão a arco elétrico leva o material base apresentar elevadas tensões residuais, que podem ser aliviadas utilizando-se tratamento térmico pós-soldagem (TTAT – Tratamento Térmico de Alívio de Tensão), de acordo com ASME Seção VIII, Divisão 1 ou 2. O TTAT é importante para aliviar as tensões residuais após soldagem, como salienta Telles⁽²⁾ para garantir a homogeneidade estrutural do metal de solda, podendo ser responsável pelos valores de tenacidade, sendo que esta deve estar dentro do especificado em normas técnicas.

Para a elaboração de um projeto de vaso de pressão é importante levar-se em consideração a análise química do material empregado, pois componentes químicos “indesejáveis” podem acabar alterando as propriedades mecânicas necessárias para um bom funcionamento e segurança do equipamento. Um exemplo disso é a presença Nb e V, normalmente encontrados em arames tubulares convencionais, que após TTAT tendem a formar carbonetos nos contornos de grãos, sendo responsáveis pela queda de tenacidade, conforme Moraes Junior.⁽³⁾

Um exemplo contrário, é a presença de níquel, que quando se encontra na composição química tem como função auxiliar na formação de ferrita acicular, responsável por uma boa tenacidade, conforme relata Vieira.⁽⁴⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material do metal de base foi um aço carbono classificado conforme ASTM, de especificação A516-Gr 70, empregado na construção de vasos de pressão, devido a sua alta taxa de tenacidade e temperatura de serviço variando entre -45°C á 350°C. A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas do aço A516-Gr 70.

Tabela 1. Propriedades mecânicas do aço ASTM A-516 grau 70⁽¹⁾

Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento (%)	
		em 200 mm	em 50 mm
≥ 260	De 485 a 620	≥ 17	≥ 21

As dimensões da junta soldada foram de 55 mm x 300 mm x 1.200 mm. Foi usado chanfro em X e posição vertical ascendente.

O processo de soldagem por Arame Tubular tem duas variantes, podendo ser protegido por gás inerte, por gás ativo ou mistura destes (*dualshield*) ou autoprotégido, sem a utilização de gases de proteção (*innershield*). Neste trabalho foi utilizado um gás de proteção cuja composição contém 99,9% de CO₂ e arame tubular AWS ET1T-1, de marca comercial Dual Shield 71SR, com diâmetro de 1,2 mm.

De acordo com a norma N-133,⁽⁵⁾ antes do início da soldagem, é necessário que haja um pré-aquecimento na junta, devendo variar entre 100°C à 250°C sendo realizado por intermédio de serpentinas, e controlado por intermédio de lápis térmico de respectivas temperaturas de trabalho.

Seguindo o aquecimento foi realizada a soldagem do primeiro lado da junta, no sentido ascendente, com corrente variando entre 173 A à 201 A e tensão entre 22 V à 27 V. A velocidade para a selagem da chapa foi de aproximadamente 13,1 cm/min., enquanto a velocidade na superfície variou-se entre 14,8 cm/min a 18,6 cm/min. A energia de soldagem resultante foi de 19,5 KJ/cm na raiz e de 15 KJ/cm na superfície. A temperatura de interpasse foi ≤ a 250°C de acordo com a N-133,⁽⁵⁾ para promover uma diminuição na velocidade de resfriamento, a fim de se evitar mudanças bruscas na microestrutura. A temperatura de interpasse também foi controlada com lápis térmico.

Em seguida, a junta foi virada e foi feita a goivagem para a retirada de selagem, com eletrodo de carvão. Após limpeza e esmerilhamento do chanfro, foi feito um ensaio não-destrutivo de Partículas Magnéticas, a fim de se analisar a presença de porosidade, trincas e outras descontinuidades na área goivada.

Foi realizada a soldagem do lado oposto mantendo o pré-aquecimento e temperatura interpasse entre 150°C à 250°C, assim como os parâmetros da soldagem do primeiro lado.

Para avaliação da qualidade da solda realizada, terminada a soldagem total da junta (Figura 1), esta foi submetida à ensaios não destrutivos de PM (Partículas Magnéticas), o ensaio visual de solda e finalizando por RT (Raio X), conforme norma N-133.⁽⁵⁾ Como não foram encontradas descontinuidades, o material soldado foi preparado para ser utilizado como amostra para o trabalho de avaliação da influência do TTAT.



Figura 1. Junta após soldagem.

A junta soldada foi cortada em três partes, sendo uma mantida como soldada (CS) e outras duas tratadas termicamente em diferentes ciclos (1 ciclo e 3 ciclos).

Para o tratamento térmico chamado de 1 ciclo a temperatura de Patamar foi de $630 \pm 10^\circ\text{C}$ e tempo de 2 horas e 30 minutos. A taxa de aquecimento foi de 80°C/h (Max) e taxa de resfriamento de 100°C/h (Máx).

Para o tratamento térmico chamado de 3 ciclos a temperatura de patamar foi de $630 \pm 10^\circ$ sendo o primeiro ciclo de 2 horas e 30 minutos e os dois seguintes de 4 horas cada. A taxa de aquecimento (Max) foi de 80°C e de resfriamento de 100°C (Max).

Após tratamento térmico de alívio de tensão, as juntas soldadas foram cortadas numa serra de fita para a preparação dos corpos de prova para análise química, ensaios de impacto e dureza.

A análise química foi realizada na seção reta da junta soldada. A verificação da composição química na raiz e a 2 mm da face, a temperatura ambiente de 22°C , através do aparelho Espectrômetro de emissão óptica ARL mod. 3460.

O ensaio de Dureza Vickers, conforme Norma Petrobras N-133,⁽⁵⁾ no equipamento microdurometro HV 510- DUR 023 foi realizada nas três situações (como soldado, 1 ciclo e 3 ciclos).

No total foram realizados 20 pontos de penetração, para cada corpo de prova, distribuídos em 11 impressões ao longo da linha superior distanciadas a 0,5 mm e 9 impressões na linha inferior para cada corpo de prova (Figura 2).

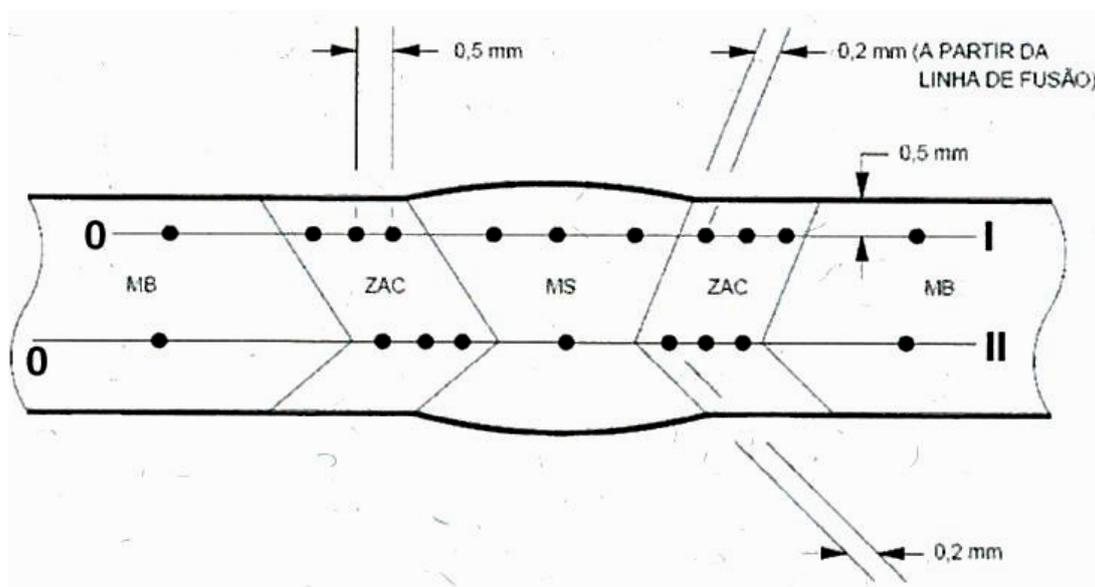


Figura 2. Distribuição dos pontos de impressão ao longo do corpo de prova.

O ensaio de Charpy foi realizado na máquina de ensaio de Impacto Zwick/ Roell – RKP 450 a -30°C . O entalhe no corpo de prova foi feito em V noth 2 (10 x 10 x 50), conforme ASME IX Ed, 2010. Foram retirados, de cada situação, 9 corpos na solda, sendo 3 mm a 1,5 mm da face, 3 a $\frac{3}{4}$ da espessura e 3 da ZTA.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química do metal de solda foi realizada a fim de se fazer uma comparação entre a composição química do metal de adição especificada pela norma e a composição química do metal de base, conforme certificado emitido pelo fornecedor. Pode-se observar (Tabela 2) que, de uma forma geral, as composições químicas do metal especificado e da junta soldada são bem próximas. Apenas o teor titânio está consideravelmente diferente. Esta diferença é coerente, já que o teor deste elemento químico do metal de base e metal de solda é razoavelmente diferente, possibilitando a ocorrência da diluição.

Tabela 2. Análise química do metal de base e da junta soldada

Elemento	Especificado (%) ASME / AWS	Junta soldada (%)
C	$\leq 0,30$	0,075
Mn	0,85 a 1,20	1,142
Si	0,15 a 0,40	0,419
P	$\leq 0,035$	0,013
S	$\leq 0,035$	0,013
Cr	$\leq 0,30$	0,028
Ni	$\leq 0,40$	0,019
Mo	$\leq 0,12$	0,009
Al	-	0,005
Cu	$\leq 0,40$	0,029
Ti	$\leq 0,030$	0,045
V	$\leq 0,030$	0,020
Nb	$\leq 0,020$	0,012

Conforme Tabela 2, os teores de Nb e V estão dentro do especificado, visto que esses elementos são grandes responsáveis pela queda da tenacidade do material, conforme relata Moraes Junior.⁽⁴⁾ que a presença destes elementos tende a se precipitarem após TTAT na forma de carbonetos e carbonitretos no metal de solda, promovendo assim uma queda nas propriedades mecânicas, principalmente provocando a queda na tenacidade ao impacto.

Os resultados de impacto Charpy-V estão apresentados nas Tabelas 3 a 5, onde se pode constatar que as tenacidades resultantes nas três condições estão satisfatórias, conforme mencionado na norma N-1859⁽⁶⁾ onde os valores da energia de absorção não devem ser menores que 47 J.

Tabela 3. Resultados ensaio de impacto (como soldado)

Localização	Resultados obtidos (J)		
	CP	Valor	Média
Solda – 1,5 mm da Face	I01	125	116
	I02	107	
	I03	116	
ZTA	I04	217	207
	I05	182	
	I06	222	
Solda – 3/4" de T	I07	43	83
	I08	99	
	I09	107	

Tabela 4. Resultado ensaio de impacto (1º ciclo)

Localização	Resultados obtidos (J)		
	CP	Valor	Média
Solda – 1,5 mm da Face	I10	114	100
	I11	132	
	I12	54	
ZTA	I13	195	252
	I14	310	
	I15	252	
Solda – 3/4" de T	I16	88	72
	I17	89	
	I18	40	

Tabela 5. Resultados ensaio de impacto (3^o ciclo)

Localização	Resultados obtidos (J)		
	CP	Valor	Média
Solda – 1,5 mm da Face	I19	123	91
	I20	64	
	I21	110	
ZTA	I22	153	156
	I23	208	
	I24	106	
Solda – 3/4" de T	I25	115	86
	I26	91	
	I27	51	

Para melhorar a interpretação dos resultados do ensaio de impacto, a média desses foram apresentadas na Figura 3.

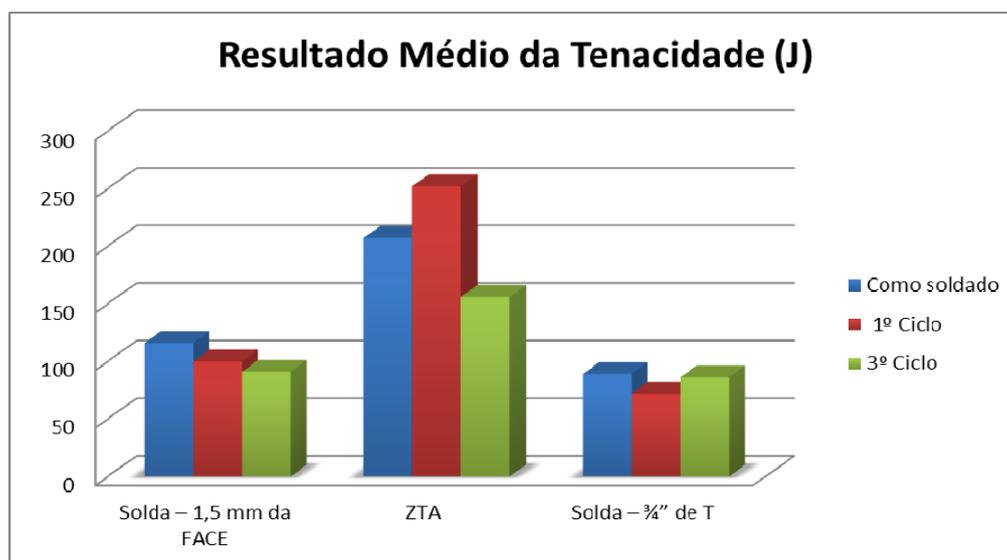


Figura 3. Média dos resultados do ensaio de impacto.

A variação da tenacidade em alguns casos é esperado devido a presença de impurezas na composição química do metal de solda, como por exemplo, o fósforo, que de acordo com Widgery⁽⁷⁾ a presença desse elemento segregado nos contornos de grão durante um resfriamento lento em uma temperatura na faixa de 450°C, pode provar a fragilização da solda.

Foi feita a análise microestrutural nas três condições, atacando-as com picral, onde não foi encontrado nenhum indício de formação de precipitados de Nb e V, onde é justificado por Quites⁽⁸⁾ que quando esses elementos se encontram em pequenos teores no metal, dificilmente podem ser detectados com auxílio de microscopia ótica. Outra forma de justificar a ausência desses precipitados é o fato de não ocorrer, após o TTAT, o aumento da dureza (Tabela 6), assim como, nos resultados de absorção de energia referentes ao ensaio de impacto, que revelam uma considerável média nos resultados (Tabelas 3 a 5).

Os ensaios de dureza foram realizados no metal de base (MB), zona termicamente afetada (ZTA) e metal de solda (MS) está apresentado na Tabela 6, onde I e I são as

linhas de impressão de dureza (Figura 2). A análise dos dados permite afirmar que após o TTAT, a dureza diminui em todas as regiões da junta soldada (MB, ZTA e Zona Fundida). Pode-se também observar que existe uma diferença entre os valores obtidos no ensaio de dureza entre as regiões da junta soldada e que essa diferença é mantida após o tratamento térmico. Alguma dispersão de valores medidos pode ser explicado pela natureza heterogênea da microestrutura, comum em metais de solda.

A diminuição dos valores de dureza está coerente com o observado em Moares Jr.⁽⁴⁾ onde os estudos já realizados mostram que esta redução nos valores de dureza está relacionada com o processo de alívio de tensões da microestrutura do metal de solda, tornando o material mais dúctil.

Tabela 6. Resultados ensaio de dureza HV5

Condição	Linha	MB 1	ZTA 1				Zona Fundida			ZTA 2	MB 2	
Como soldado	I	165	202	207	232	213	210	213	233	206	194	163
	II	168	193	197	222		207		230	209	199	163
1º Ciclo	I	160	199	206	218	197	205	209	215	196	188	158
	II	160	188	196	209		205		205	209	181	161
3º Ciclo	I	158	172	183	193	191	194	194	191	179	165	156
	II	156	177	193	203		194		205	197	188	155

4 CONCLUSÕES

O estudo da variação de propriedades mecânicas de juntas do aço A516-GR70 soldada com arame tubular AWS E71T permite concluir:

- a tenacidade após tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT) no metal de solda atingiu valores satisfatórios, visto que não foram detectadas a presença de precipitados de Nb e V, que poderiam influenciar no decréscimo da mesma; e
- os valores de dureza tiveram uma pequena queda, conforme aumentava o tempo em que o material permanecia sobre o TTAT, levando a um aumento da ductilidade do material.

REFERÊNCIAS

- 1 AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **Specification for pressure vessel plates, carbon steel, for moderate – and lower – temperature service.** Section II – A, SA-516/SA-516M, Edition 2010.
- 2 TELLES, P. C. S. **Vasos de Pressão.** 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 302 p.
- 3 MORAES JUNIOR, José Mauro. **Influência do Tratamento Térmico de Alívio de Tensões Pós-soldagem na Microestrutura e Comportamento Mecânico de Soldas Produzidas com Arame Tubular Rutilico.** Lorena. 2008. 83 f.
- 4 VIEIRA, L. A. **Avaliação da Tenacidade após Tratamento Térmico de Alívio de Tensões em Soldas Produzidas com Arames Tubulares Rutilicos que Contenham Níquel.** 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- 5 PETROBRAS. **N-133: Soldagem.** 2002, 48 p.

- 6 PETROBRAS. **N-1859**: Consumível de Soldagem com propriedades Asseguradas 1996, 12 p.
- 7 WIDGERY, D. J. **Stress-relievable rutile flux-cored wires - a new approach.**, n. 1-2, p. 45-48, 1997.
- 8 QUITES, A. M. **Metalurgia na Soldagem dos Aços**. Florianópolis: SOLDASOFT. 2008. 311 p.