

# **EFEITO DO TEMPO DE TRATAMENTO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UMA JUNTA SOLDADA DO AÇO API 5L X60**

**Código: 21077**

**Resumo.** A proposta deste trabalho foi analisar a influência do tempo no tratamento térmico para alívio de tensões no que se refere às propriedades de energia de impacto de uma junta soldada de uma tubulação de aço API 5L X60, usada para a condução de petróleo. Para tanto foram realizados testes de resistência ao impacto Charpy a uma temperatura de 253 K (-20 °C) em corpos de prova com os entalhes confeccionados nas regiões de metal de base, zona termicamente afetada (ZTA) e metal de solda. Todos os corpos de prova foram submetidos a tratamentos térmicos para alívio de tensões a uma temperatura de 923 K (650 °C) por tempos de: 1, 5, 8 e 11 horas. Os resultados obtidos indicaram que com relação ao metal de solda houve um acréscimo na tenacidade para o tempo de 1 hora. Para tempos maiores, observou-se uma tendência à estabilização desta propriedade. Com relação ao metal de base verificou-se uma acentuada queda da tenacidade para tratamentos a 923 K (650 °C) por uma hora. Com relação a ZTA observou-se uma acentuada variação dos valores de resistência ao impacto.

**Palavras chave:** Soldagem; Aços ARBL; Propriedades Mecânicas; Alívio de Tensões; Tubulações.

**Área Temática:** Processos de Fabricação

## **1. INTRODUÇÃO**

As propriedades mecânicas dos metais dependem diretamente da sua microestrutura, que por sua vez depende da composição química e dos processos de fabricação utilizados na sua obtenção. Sendo assim, o interesse em analisar-se a influência de fatores que interfiram em mudanças microestruturais deverá estar sempre presente em pesquisas sobre este tema. O principal fator responsável pelas mudanças na microestrutura dos metais ferrosos, mais especificamente dos aços, são os ciclos térmicos a que são submetidos durante tratamentos térmicos com o objetivo de melhoria nas propriedades mecânicas. A soldagem destes materiais, cujos processos necessitam de um metal de adição, apresentam sua estrutura fundida em função do metal de base a ser soldado, (Suzuki, R. N et al., 1998; Akritov, A. S. et al., 1991; Ale, R. M. & Rebello, J. M. A, 1989; Park, T. W. & Kang, C. Y., 2000; Davey, T. G., 1981; Almeida, A. A. et al., 1998).

Além das modificações microestruturais, proporcionadas pelo ciclo térmico de soldagem, a soldagem induz altos níveis de tensões residuais que tendem a reduzir a tenacidade da junta soldada, podendo comprometer seriamente a integridade da estrutura, (Spinelle, D., et al., 1992; Pistorius, P. G. H. et al., 1997; Bott, I. S. et al., 1992; Fonseca, M. P. C. et al., 1998; Bott, I. S. et al., 1999). As formas mais utilizadas para reduzir os níveis de tensões residuais na junta soldada são os Tratamentos Térmicos de Alívio de Tensões (TTAT), que consiste em aquecer a junta soldada a uma temperatura inferior à temperatura de transformação da perlita, mantendo a junta nesta temperatura por um determinado tempo.

Deste modo, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da variação do tempo de tratamento térmico para alívio de tensões (TTAT) sobre a resistência ao impacto de uma junta soldada transversalmente de uma tubulação de aço API 5L X60 nas regiões do metal de base, metal de solda, e ZTA.

## **2. MATERIAIS E METÓDOS**

Para a realização deste trabalho foi utilizada uma tubulação de aço ARBL (API 5L – X60) cedida pela PETROBRAS, a referida tubulação apresenta as seguintes dimensões: 60,96 mm de diâmetro interno e 17,5 mm de espessura média, soldada longitudinalmente pelo processo de a arco

submerso (solda de fabricação) e solda transversal realizada pelo processo arco elétrico com eletrodo revestido (solda de união). As características da solda transversal foram: chanfro em V com 01 passe de raiz, 03 passes de enchimento e 01 passe de revenido.

A Figura (1) representa uma ilustração da tubulação.

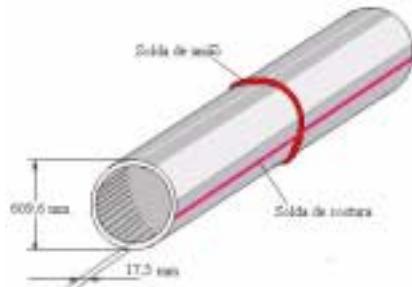


Figura 1. Representação da tubulação apresentando as soldas de fabricação e união

As composições químicas do metal de base e metal de solda foram obtidas através de análise realizada pela BOEHLER THYSSEN TÉCNICA DE SOLDAGEM e são apresentadas na Tab. (1).

Tabela 1. Composição química do Metal de Base (MB) e Metal de Solda (MS)  
em % (percentagem) em peso

Composição Química									
Material	%C	%S	%P	%Mn	%Si	%Ni	%Mo	%V	%Nb
MB	0,15	0,008	0,014	1,46	0,33	0,02	< 0,05	< 0,05	-
MS	0,13	0,017	0,011	0,38	0,14	0,04	0,50	<0,05	-

## 2.1. Procedimentos Experimentais

O material para confecção dos corpos de prova Charpy foi retirado ensaio de impacto Charpy a uma distância de 300 mm da Zona Afetada Termicamente (ZTA) da junta transversal (solda de união) através do processo de corte a gás.

Os tratamentos térmicos foram realizados num forno tipo mufla (temp. máxima de 1273 K (1000 °C)), o qual atinge temperaturas em torno de 1273 K (1000 °C).

Os tratamentos foram executados tomando-se por base a norma da PETROBRAS N-1859c/1992, a qual especifica a velocidade de aquecimento e esfriamento tomando-se por base ser calculada usando-se as Eq. (1) e (2).

$$\text{Taxa de Aquecimento} = 220 \times \frac{25}{\text{espessura}(mm)} ^\circ\text{C}/\text{h} \quad (1)$$

$$\text{Taxa de Resfriamento} = 280 \times \frac{25}{\text{espessura}(mm)} ^\circ\text{C}/\text{h} \quad (2)$$

Os tratamentos térmicos foram realizados a uma temperatura de 923 K (650 °C) com tempos de patamar de 1, 5, 8 e 11 horas. A escolha desta temperatura para o TTAT se deu em virtude da faixa ideal para TTAT dos aços C-Mn está entre 823 K (550 °C) – 923 K (650 °C) (Saunders, G.C. 1981), buscando-se o aparecimento de trincas de reaquecimento (Grong, O., 1992, 2<sup>a</sup> Edition, published by The Institute of Materials). As velocidades de aquecimento e resfriamento para os tratamentos foi da ordem de 4,6 K/s (3 °C/min) para ambas as condições. Estas velocidades foram

tomadas como referência, visto que o material utilizado tinha espessura inferior a mínima exigida por norma, toma, portanto, a espessura de 25 mm que é a menor espessura aceita pela norma (PETROBRAS N – 1859c, 1992). Os testes de impacto Charpy foram realizados de acordo com a Norma (ASTM E23-96, 1996).

As Figuras (2) (a), (b) e (c) representam as posições de retirada dos corpos de prova Charpy com dimensões, obedecendo os critérios da norma ASTM E23-96 (1996).

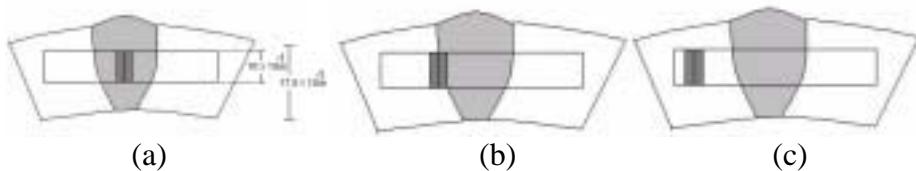


Figura 2. Representação do local do entalhe para os corpos de prova de charpy  
(a) posição no metal de solda; (b) ZTA; (c) metal de base.

A localização dos entalhes conforme apresentado pelas Fig. (2) (a), (b) e (c) foi assim definida porque o objetivo era analisar as regiões do metal de solda, metal de base e zona afetada termicamente. Quanto ao metal de base o entalhe foi confeccionado a uma distância de 200 mm como condição de não sofrer influência da temperatura da ZTA. Para cada posição do entalhe foram confeccionados três corpos de prova, os quais foram ensaiados nas condições dos tratamentos térmicos de alívio de tensões já apresentados.

Os testes de impacto Charpy foram todos efetuados a temperatura de 253 K ( $-20^{\circ}\text{C}$ ). Para a obtenção desta temperatura os corpos de provas foram colocados em nitrogênio líquido por um determinado tempo, quando estes eram retirados do cilindro de nitrogênio colocava-se o termopar digital para o controle da temperatura e estando o termopar marcando uma temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$  abaixo da exigida, então se soltava o martelo para a execução do ensaio.

Este gradiente de temperatura foi tomado com base no tempo que o martelo consumia para se deslocar da posição inicial até a posição de choque com o corpo de prova.

O equipamento utilizado para a realização dos ensaios foi uma máquina universal para ensaios de materiais, modelo PW 30/15K, nº 27 ano de fabricação 1982.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Análise do Metal de Base/ Resistência ao Impacto (923 K ( $650^{\circ}\text{C}$ ))

A Figura (3) e a Tab. (2) apresentam os valores de energia Charpy para os corpos de prova tratados a temperatura de 923 K ( $650^{\circ}\text{C}$ ) variando-se o tempo de 1, 5 e 11 horas.

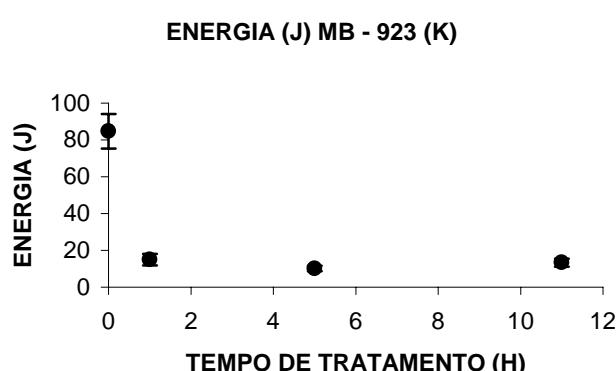


Figura 3. Variação da resistência ao impacto no metal de base em função do tempo de tratamento a uma temperatura de 923 K ( $650^{\circ}\text{C}$ )

Tabela 2. Valores de resistência ao impacto no metal de base em função do tempo de tratamento a uma temperatura de 923 K (650 °C).

Energia Charpy (J) a 923 K MB					
Tempo (Hs)	Cp01	Cp02	Cp03	Média	Desvio
ST	86,32	74,55	93,19	84,69	9,42
01	18,64	13,53	12,75	14,97	3,19
05	9,810	8,830	11,77	10,13	1,49
11	15,69	11,57	12,75	13,33	2,12

Analisando-se a Fig. (3) percebe-se que comparando todos os corpos de prova nas diversas condições de tempo de tratamento com o material sem tratamento térmico nota-se que houve uma queda expressiva no valor da energia Charpy. A ausência das separações explica a queda na energia Charpy dos corpos de prova tratados termicamente a 923 K (650 °C). As separações deslocam a curva de transição dúctil – frágil para valores mais baixo de temperaturas (Feldmann, U.; Freier, K.; Vlad, C.M.; Kugler, J., 1983; Hero, H.;Evensen, J; Embury, J.D., 1975; Iino, M., 1978).

As Fig. (4) (a)-(e) Representam as metalografias por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do Metal de Base.

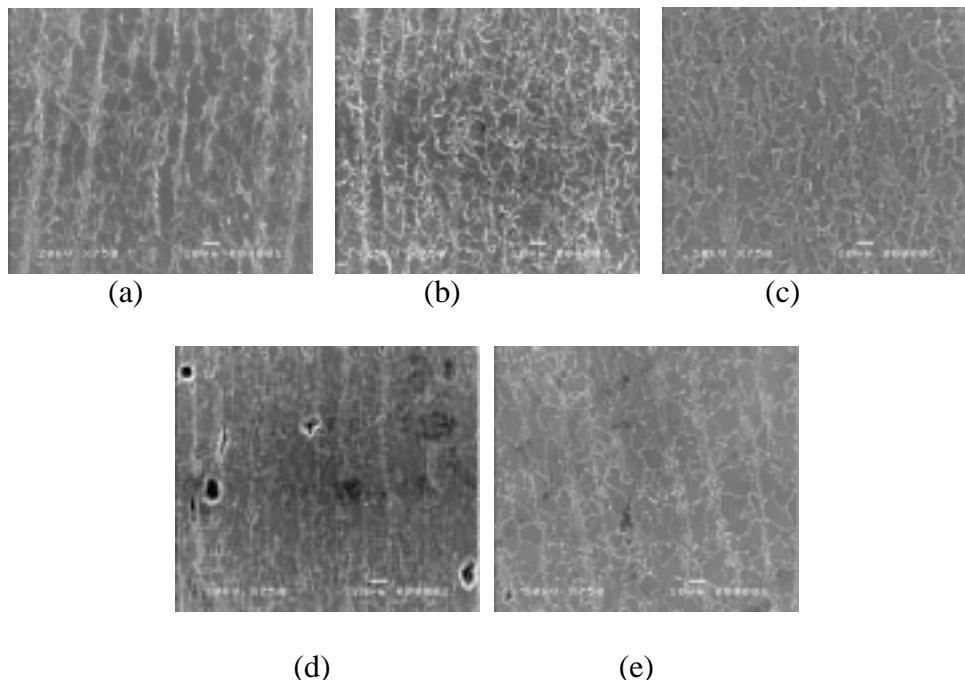


Figura 4. Metalografias por MEV do Metal de Base: (a) sem tratamento e tratada a 923 K (650 °C) por tempo de (b) 1 hora; (c) 5 horas; (d) 8 horas; (e) 11 horas.

A recuperação da textura do material para estes tempos de tratamento que pode ser visto através das Fig. (4) (b), (d) e (e), evitou a formação de separação o que para a temperatura de ensaio Charpy (253 K) determinou a queda da energia de fratura. Carbonetos precipitados e o leve aumento de grão como observado na Fig. (4) (c) são condições também favoráveis para que ocorra uma diminuição no valor da energia Charpy.

As Fig. (5) (a)-(e) Representam os aspectos das superfícies de fratura para corpos de prova sem tratamento térmico e tratados a 923 K (650 °C).

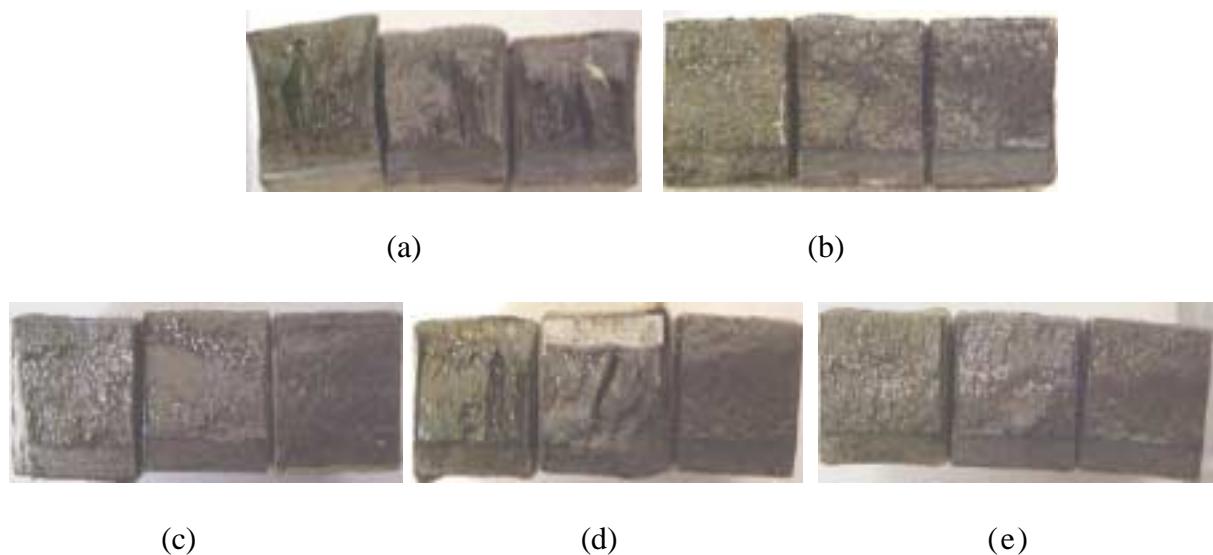


Figura 5. Aspectos das superfícies de fratura para corpos de prova sem tratamento térmico e tratados a 923 K (650 °C): (a) sem tratamento; (b) tratado a 1 hora; (c) tratado a 5 horas; (d) tratado a 8 horas; (e) tratado a 11 horas.

### 3.2. Análise do Metal de Solda/ Resistência ao Impacto/ Influência do Tempo de Permanência na Temperatura 923 K (650 °C)

Observando-se a Fig. (6) nota-se que não houve uma variação no valor da energia de Charpy após o tratamento térmico para alívio das tensões se compararmos ao metal de solda sem tratamento. Contudo o leve crescimento no valor da energia após 1 hora de tratamento pode ser atribuído a uma recuperação da microestrutura conferindo-lhe uma melhor tenacidade. Para os tempos acima de 1 hora de tratamento térmico observa-se uma leve redução da energia absorvida podendo-se atribuir esta ocorrência ao fato nocivo do aumento da granulometria o que pode ser observado nas Fig. (7) (a) a (d). Os baixos valores de energia para o metal de solda estão relacionados à fratura frágil conforme se observa na Fig. (8) (a) a (e).

A Figura (6) e a Tab. (3) apresentam os valores de energia Charpy para o metal de solda com tratamento a 923 K (650 °C) variando-se o tempo de tratamento de 1, 5, 8 e 11 horas.

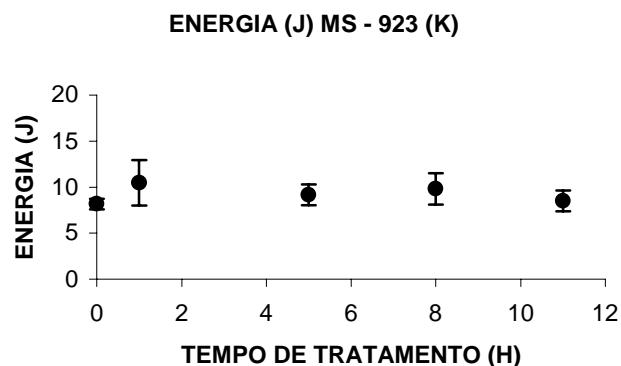


Figura 6. Gráfico de energia Charpy para o metal de solda com a variação do tempo de tratamento para a temperatura 923 K (650 °C).

Tabela 3. Valores de energia para o metal de solda com tratamento a 923 K (650 °C) variando-se o tempo de tratamento.

Energia Charpy (J) a 923 K MS					
Tempo (Hs)	Cp01	Cp02	Cp03	Média	Desvio
ST	8,830	7,840	7,84	8,170	0,57
01	10,79	12,75	7,84	10,46	2,47
05	9,810	9,810	7,84	9,150	1,13
08	8,830	11,77	8,83	9,810	1,69
11	7,850	9,810	7,85	8,500	1,13

A Figura (7) apresenta as metalografias obtidas por MEV do Metal de Solda nas mesmas condições do metal de base.

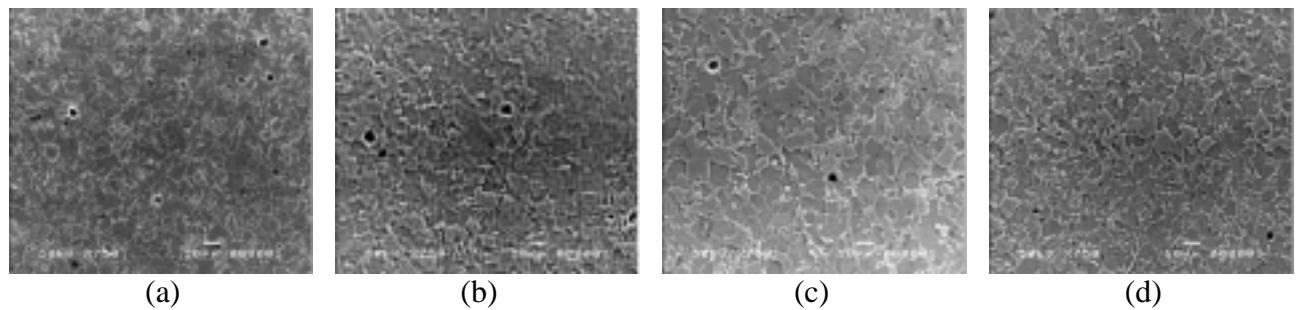


Figura 7. Metalografias por MEV do Metal de Solda: (a) sem tratamento e tratado a 923 K (650 °C) com o tempo variando de (b) 1 hora; (c) 5 horas; (d) 8 horas.

As Fig. (8) (a)-(e) Representam os aspectos das superfícies de fratura para o metal sem tratamento térmico e tratados a 923 K (650 °C) para diversos tempos de tratamento.

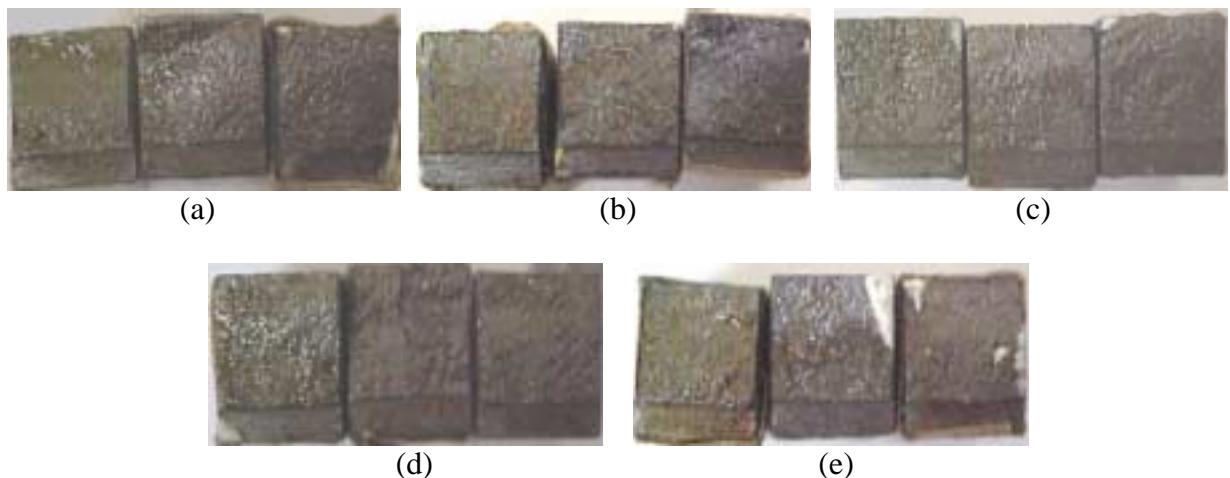


Figura 8. Superfícies de fratura para o material sem tratamento (a) e tratado a 923 K (650°C) por: (b) 1 hora; (c) 5 horas; (d) 8 horas; (e) 11 horas

### 3.3. Análise da ZTA/ Resistência ao Impacto/ Influência do Tempo de Permanência na Temperatura de 923 K (650 °C)

A Figura (9) e a Tab. (4) apresentam os valores de energia Charpy na ZTA com tratamento a 923 K (650 °C) variando-se o tempo de tratamento de 1, 5, 8 e 11 horas.

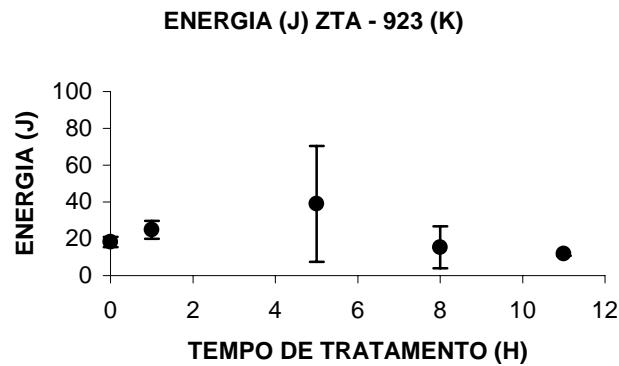


Figura 9. Variação da resistência ao impacto na ZTA com o tempo de tratamento à temperatura de 923 K (650 °C).

Tabela 4. Valores da resistência ao impacto na ZTA com o tempo de tratamento à temperatura de 923 K (650 °C).

Energia Charpy (J) a 923 K (650 °C) ZTA					
Tempo (Hs)	Cp01	Cp02	Cp03	Média	Desvio
ST	21,58	16,68	16,68	18,31	2,820
01	29,43	19,62	25,50	24,85	4,930
05	8,830	36,29	71,61	38,91	31,47
08	28,45	7,850	9,810	15,37	11,36
11	10,79	11,77	12,75	11,77	0,980

A Figura (10) apresenta as metalografias obtidas por MEV da ZTA (a) sem tratamento e tratada a 923 K (650 °C) variando-se o tempo de tratamento.

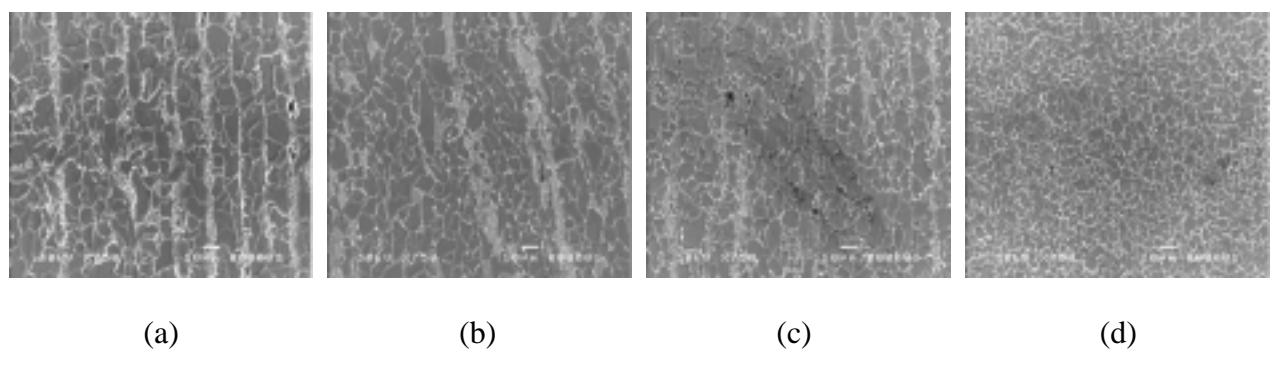


Figura 10. Metalografias por MEV da ZTA (a) sem tratamento e tratada a 923 K (650 °C) por: (b) 5 horas; (c) 8 horas; (d) 11 horas.

A Figura (11) apresenta o aspecto das superfícies de fratura para o material sem tratamento e tratado a 923 K (650 °C) variando-se o tempo de tratamento.

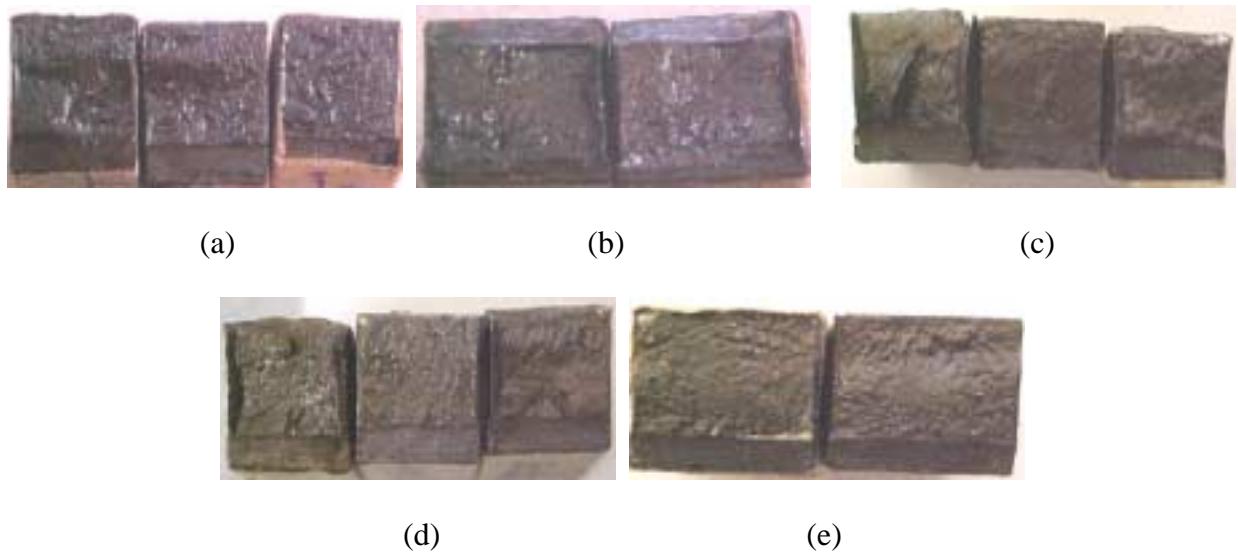


Figura 11. Aspecto das superfícies de fratura para o material sem tratamento e tratado a 923 K (650 °C) variando-se o tempo de tratamento: (a) sem tratamento; (b) 1 hora; (c) 5 horas; (d) 8 horas; (e) 11 horas.

A Figura (12) apresenta o aspecto de fratura por clivagem para o corpo de prova a 8 horas de tratamento térmico.

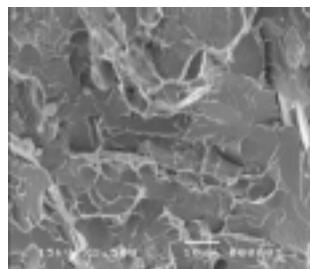


Figura 12. Aspecto de fratura por clivagem para o corpo de prova a 8 horas de tratamento térmico.

Analizando-se a Fig. (9) observa-se um aumento nos valores de resistência ao impacto até o tempo de 5 horas, podendo-se atribuir este fato aos efeitos do tratamento térmico de alívio de tensões na textura e microestrutura dos corpos de prova tratados, Fig. (10) (a) e (b). A presença de separações no corpo de prova 03, Fig. (11) (c), provocou o aumento do valor médio de energia Charpy dos corpos de prova tratados termicamente a 923 K (650 °C) por 5 horas e, portanto responsável pela dispersão dos resultados nesta temperatura de tratamento. Para tempos superiores a 5 horas observa-se uma queda nos valores de energia apesar da recuperação da textura do material, principalmente para o tratamento térmico realizado com tempo de permanência na temperatura de 11 horas, onde observa-se pela Fig. (10) (d) que a textura alinhada foi substituída por uma granulação equiaxial fina.

A queda nos valores de energia de impacto para corpos de prova tratados a tempos superiores a 8 horas pode ser atribuída aos precipitados finos de carboneto associados a microestrutura resultado do tratamento térmico de alívio de tensões para estes tempos de permanência na temperatura de 923 K (650 °C).

Na Figura (11) observa-se a superfície de fratura dos corpos de prova Charpy ensaiados, em geral com aspecto plano, característico de fratura frágil.

Na Figura (12) observa-se a metalografia por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura do corpo de prova tratado por 8 horas. Percebe-se que o micromecanismo principal de fratura foi de clivagem.

#### 4. CONCLUSÕES

No metal de solda tratado por uma hora, a melhora na resistência ao impacto foi atribuída ao efeito do tratamento térmico de alívio de tensões na recuperação da microestrutura original da solda.

A melhora na resistência ao impacto para a região da ZTA (tratada por uma hora) aparentemente está, principalmente, relacionada com a recuperação da textura do material, originalmente deformado pelo processo de laminação da chapa e pela conformação da tubulação.

Para o metal de base (diversos tempos), verificou-se uma queda da energia Charpy de fratura devido a recuperação da textura e consequentemente o não aparecimento de separações.

Para o metal de solda ensaiado a 923 K (em diversos tempos) o aumento da resistência ao impacto para uma hora de tratamento está relacionada à recuperação da microestrutura promovida pelo TTAT. Já para tempos acima de uma hora, houve uma estabilização desta propriedade.

Para a região da ZTA tratada a 923 K (em diversos tempos) notou-se uma melhora na resistência ao impacto para tempos de até 5 horas de tratamento. Para tempos acima de 5 horas foi observada uma pequena queda nos valores desta propriedade, fato atribuído a mudanças na textura e microestrutura da ZTA. Devido a precipitados de carbonetos associados à mesma, apesar do refino da microestrutura.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a BOEHLER THYSSEN TECNICA DE SOLDAGEM na pessoa do engenheiro Ricardo Fernando responsável pela análise química dos materiais, à Escola Técnica Federal da Paraíba pela realização dos ensaios de Charpy e a PETROBRAS pelo fornecimento da tubulação.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKRITOV, A. S.; KOLENCHKO, A. A.; SHORSHOROV, M. K.; et all. "Effect of the welding Thermal Cycle and Heat Treatment on the Structure and Properties of the Heat Affectd Zone Metal of Welded Joints in 09G2SBF Quenched and Tempered Ferritic-Perlitic Steel". Welding International, vol. 5, nº 4, pág. 304–306. (1991).

ALÉ, R. M; REBELLO, J. M. A. "Zona Afetada pelo Calor de Aços C-Mn." COPPE/UFRJ – Rio de Janeiro, pág. 72–81. (1989).

ALMEIDA, A. A; SUZUKI, R. N; TREVISON, O. V; TREVISON, R.E. "Analise do Ciclo Térmico e da Microestrutura na Soldagem Multipasse de um Aço de Alta Resistência e Baixa Liga". 13º CBECIMAT – São Paulo (1998).

ASTM-American Standards Test Methods, E 23-96, 1996.

BOTT, I.S; OURO, C. R; INSFRAN, A. C. C. "Estudo do Efeito de Múltiplos Tratamentos Térmicos para Alivio de Tensões em Chapa de Aços Estruturais Temperados e Revenidos". 10º CBECIMAT – Águas de Lindóia –Dezembro (1992), pág. 904-907.

BOTT, L. S.; TEIXEIRA, J. C. G. "Toughness Evaluation of a Shielded Metal Arc C-Mn Steel Welded Joint Subjected to Multiple Post Weld Heat Treatment". ASM International (1999), pág. 683-692.

DAVEY; T. G. "The effect of welding Parameter changes on the Heat Affectd Zone Microstructure on Toughness of Single Pass welds in 25 mm tick C-Mn.

FELDMANN, U.; KUGLER, J.; FREIER, K.; VLAD, C. M. "Mechanical and Toughness Properties of Separation-Free HSLA Line Pipe Stees for Artic Condicions". Conference Proceedings ASM – HSLA Steels Technology e Aplications., Pp 733-741,1983.

FONSECA, M. P. C; MELLO, J. S; TEODÓSIO, J. R; REBELLO, J. M. A. "Evolução do Estado de Tensões residuais Durante a Produção de Tubo API 5L-X70". 13º CBECIMAT - São Paulo, Outubro (1998), págs. 871-878.

GRONG, O " Metallurgical Modelling of Welding " Published in 1994 by The Institute of Materials.

HERO, H.; EVENSEN, J. AND EMBURY, J. D. "The occurrence f delaminatios in a control rolled HSLA steel". Canadian Metallurgical Quarterly, volume 14, number 2, 1975.

IINO, M. " The Estimation of the Delamination Efecct on Impact Toughness of Steel". Transactions ISII, vol. 18, pp 339-343, 1978.

PARK, T. W; KANG, C. Y. "The Effects of PWHT on the Toughness of weld HAZ in Cu- Containg HSLA–100 Steel". ISIJ – International, Vol. 40, Supplement, págs. 949-953. (2000).

PETROBRAS, N-1859c, Setembro, 1992.

PISTORIUS, P.G. H.; SMITH, C.; WANNENBURG, J. " The effect of a Long Post Weld Heat Treatment on the Integrity of a Welded Joint in a Pressure Vessel Steel". Elsevier Science Limited (1997), págs.183-187.

SUZUKI, R. N; ALMEIDA, A. A.; TREVISAN, O. V.; TREVISAN, R. E. "Ciclos Térmicos na Soldagem Multipasse de um Aço de Alta Resistência e Baixa Liga". 5º Congresso Ibero – Americano de Soldagem – Setembro de 1998 – Fortaleza – CE

SPINELLI, D; GOMES, S. I. N; AGNESINE, M. W; FAESARELLA, I. S. "Efeito do Tratamento Térmico de Envelhecimento e Relação de Tensão em Soldas de Aço ARBL". 10º CBECIMAT – Águas de Lindóia –Dezembro (1992), págs. 613-616.

## **EFFECT OF THE TIME OF TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A WELDED JOINT OF THE AÇO API 5L X60**

### **Osenir Virlândio Vieira da Silva Neto**

UFCG/CCT/DEM -Aprígio Veloso Street, 882, Postcode: 58109-970, Campina Grande, PB-  
E-mail: virlândio@yahoo.com.br

### **João Baptista da Costa Agra de Melo**

UFCG/CCT/DEM -Aprígio Veloso Street, 882, Postcode: 58109-970, Campina Grande, PB-  
E-mail: joao@dem.ufpb.br

### **Theophilo Moura Maciel**

UFCG/CCT/DEM -Aprígio Veloso Street, 882, Postcode: 58109-970, Campina Grande, PB-  
E-mail: theo@dem.ufpb.br

**ABSTRACT.** The purpose of this work was to analyze the influence of the time of relief stress thermal treatment on impact resistance of a welded joint of an API 5L X60 steel pipeline used for petroleum transmission. For this, Charpy impact test at 253 K (-20 °C) were executed in specimens extracted from weld metal, heat affected zone (HAZ) and base metal submitted to thermal treatment at 923 K (650 °C) for: 1h, 5h, 8h and 11 hours. The results indicated an increase of weld metal and HAZ impact resistance for treatment of 1 hour. For larger times, a tendency was observed to the stabilization of this property. However, it was observed a great decrease of metal base impact resistance at temperature of 923 K (650 °C) for 1h. With relationship heat affected zone (HAZ) an accentuated variation was observed from the resistance values to the impact.

**Key-Words:** Weld, Steel ARBL, Mechanical Properties, Relief Stress, Pipeline.