

INFLUÊNCIA DAS ROTAS DE RESFRIAMENTO NA TENACIDADE À FRATURA DINÂMICA DE JUNTAS SOLDADAS DO AÇO ESTRUTURAL COS CIVIL 300

R. Hirayama, R.C.Tokimatsu

Av. Brasil Centro, 56 – CEP: 15385000 Ilha Solteira – SP

rhirayama@gmail.com

UNESP – Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica

GC3M – Grupo de Caracterização Mecânica e Microestrutural dos Materiais

RESUMO

Os processos de soldagem estão em grande escala na construção civil, para a fabricação de perfis metálicos. Para racionalizar custos de processamento e de materiais empregados desenvolveu-se a técnica de soldagem de laminados planos sem chanfro em apenas um lado, porém para isso deve-se possuir uma solda com boas propriedades mecânicas. Através dos ensaios mecânicos e principalmente do estudo da tenacidade à fratura dinâmica do metal de solda, mostrar que através dos ciclos térmicos pode-se obter tal estrutura. O material utilizado foi um aço estrutural soldado por Arco Submerso. As chapas possuíam 5000x500x16mm e foram unidas por dois passos de solda. A determinação dos valores de tenacidade à fratura dinâmica (K_{ID} e J_{ID}) foi realizada a partir de curvas de força-tempo, capturadas em uma máquina Charpy Instrumentada. Com tais resultados pode-se comprovar a grande fragilidade do cordão-de-solda na condição como soldado e apontar rotas de resfriamento que aumentam as propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Charpy Instrumentado, Cordão-de-solda, Tenacidade à fratura dinâmica.

INTRODUÇÃO

O aço vem cada vez mais fazer parte fundamental como matéria prima nos diferentes setores da sociedade. O aço é a mais versátil e a mais importante das ligas metálicas conhecidas pelo ser humano. A produção mundial de aço bruto no ano de 2004 foi superior a 1 bilhão de toneladas. Cerca de 100 países produzem aço, e o Brasil é considerado o 8º produtor mundial ⁽⁹⁾.

A construção civil é um dos setores que utilizam o aço devido: economia de tempo ao permitir uma maior velocidade de execução visto que os componentes, na sua maioria, são produzidos fora da locação. O tempo de construção é mais curto e minimiza as inconveniências na vizinhança. Os usuários podem ocupar a edificação mais rapidamente. Tal economia de tempo reduz os custos de investimento e permite que os encargos financeiros sejam amortizados mais rapidamente.

Reduz o impacto negativo dos locais de construção, a construção em aço traz a montagem de produtos semi-acabados vindos da fábrica, em um ambiente controlado, limitando as operações ao ar livre. Portanto, as locações são mais silenciosas, livres de detritos, limpas, secas e livres de poeira. Os produtos podem ser entregues no ato da montagem, reduzindo as exigências de armazenagem na locação. Nos centros das cidades, as vias públicas adjacentes ficam menos congestionadas e não há interrupção no fluxo do tráfego, com significativa redução de ruído.

Economiza materiais e ajuda a preservar o solo. O baixo peso do aço permite fundações menores que não exigem escavações gerando entulho e conseqüentes viagens de caminhão. Em certos casos, algumas vigas são suficientes para se levantar completamente a edificação ⁽⁹⁾.

Esses exemplos indicam a grande importância do setor siderúrgico no Brasil, além de mostrar a importância de um processo de fabricação muito utilizado, a soldagem. Esse processo está intimamente ligado na fabricação de perfis metálicos.

O foco principal desse trabalho será analisar os sinais obtidos pelo ensaio de Charpy Instrumentado e obter características referentes à tenacidade em fraturas dinâmicas do cordão-de-solda do aço COS Civil 300. Porém os sinais de força por tempo apresentam uma série de oscilações que prejudicam a interpretação e aquisição de resultados, que são causadas pelo avanço de trinca, efeitos do processo de deformação ou mesmo originado pelo impacto das partes envolvidas.

O objetivo é eliminar essas oscilações indesejáveis e obter uma quantidade de conhecimento sobre o cordão-de-solda possibilitando melhorias nos processos com redução dos custos, fator preponderante nos projetos de construção civil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, corpos-de-prova retirados de juntas soldadas foram preparadas por Soldagem a Arco Submerso (SAS) segundo os parâmetros da Tabela 1. O metal base utilizado foi o convencionalmente empregado na fabricação de estruturas metálicas soldadas: o aço estrutural COS Civil 300.

Tabela 1 - Parâmetros do processo de soldagem a arco submerso da junta.

Número do Passe	Parâmetros de processo de soldagem			
	Velocidade de Soldagem [mm/min]	Taxa de Deposição [pol/min]	Intensidade de Corrente [A]	Tensão [V]
1º Passe	880	125	550-600	31,2
2º Passe	550	150	750-800	31

Com o propósito de se conhecer melhor as características do cordão-de-solda resultante do processo de soldagem, realizou-se sua análise química. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química (% em peso) do cordão-de-solda.

Composição Química										
C	Mn	Si	P	S	Cu	Al	Ti	Mo	W	B
0,06	1,16	0,66	0,028	0,016	0,12	0,015	0,022	0,01	ND	0,0005

*ND – Não Detectado

Os perfis soldados em sua grande maioria são estruturas de grande porte atingindo pesos de centenas e até milhares de quilos por perfil, e envolve na sua confecção chapas de grande porte. Portanto, houve a preocupação que a junta soldada utilizada neste projeto se aproximasse ao máximo das condições reais de

confeção dos perfis normalmente comercializados. Para tal, 2 (duas) chapas de 5 (cinco) metros de comprimento foram preparadas para a soldagem automática multi-passe.

Os corpos-de-prova Charpy do tipo A foram extraídos perpendicularmente ao cordão-de-solda de tal modo que o entalhe se encontre posicionado sobre o cordão.

As dimensões nominais e respectivas tolerâncias dos corpos-de-prova Charpy tiveram como referência a norma técnica ASTM E-23.

O entalhe foi locado na zona de fusão e usinado paralelamente ao eixo principal do cordão-de-solda. O propósito do entalhe usinado foi simular a falta de penetração ocorrida nesta área crítica do filete de solda quando é executada a soldagem de um lado só em um único passe.

Os ensaios de impacto foram realizados à temperatura ambiente, em um sistema de ensaio PW30 instrumentado e informatizado de impacto Instron Wolpert, do Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística – EESC – USP.

O sistema fornece curvas força x tempo, força x deslocamento, energia de impacto x deslocamento, deslocamento x tempo e velocidade x tempo, como também fornece de força, deslocamento, tempo e energia nos eventos de deslocamento global, carga máxima, no início de freamento de trinca frágil e instável.

A velocidade inicial utilizada para o impacto do martelo no ensaio foi de 5,52 m/s com um fundo de escala de 300 J. Na Figura 1 é mostrado um exemplo das curvas geradas pela máquina durante o ensaio Charpy Instrumentado da junta soldada com entalhe arredondado.

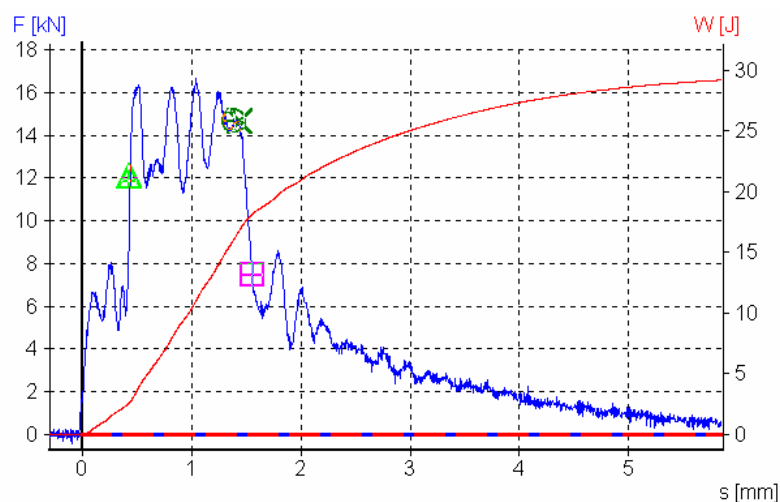


Figura 1 -Exemplo de curva carga x deslocamento x energia, gerada pela

máquina durante o ensaio Charpy Instrumentado com entalhe arredondado.

Os dados provenientes do ensaio Charpy Instrumentado, são sinais força x tempo e força x deslocamento, esses sinais são muito difíceis de serem interpretados no primeiro instante de sua aquisição, isso devido ao ruído e ondulações intrínsecas ao processo de aquisição do mesmo. Logo foi proposto utilizar um método de filtragem por média móvel. Para o melhor entendimento, interpretação e ratificação do sinal dinâmico, foi proposto trabalhar como base de comparação à energia global.

Porém sabe-se que a energia global não tem utilidade prática e quantitativa para serem usadas em cálculos nos projetos, sua utilidade é apenas de caráter qualitativo, ou seja, para classificação de materiais. Considerando esse fato e que com o ensaio Charpy Clássico é possível obter a leitura da energia de forma direta no Dial, não se justifica a instrumentação dessa máquina, mas o intuito da instrumentação é propiciar além da energia global, a captação de um sinal que descreva de forma detalhada, informações sobre os esforços e tensões envolvidos no processo de fratura e através desse detalhamento do processo, ter possibilidade de monitorar o deslocamento da trinca desde o seu início e com isso caracterizar o material ensaiado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O material utilizado nesse trabalho foi uma junta soldada por arco submerso, utilizado na construção de estruturas metálicas. Foram confeccionados cinco corpos-de-prova por condição.

Foram obtidos três energias totais (J), um valor será chamado de Energia absorvida Ensaio Charpy Clássico (E_D) que corresponde a variação da energia potencial do martelo pendular; outro valor corresponde a integração da curva força x deslocamento fornecido pela Instron Wolpert, nesse caso não foi realizado nenhum tratamento da curva, essa energia será chamada Energia Charpy Instrumentado (E_W), e o terceiro valor corresponderia ao mesmo do anterior porém a curva sofreu um tratamento através da Média Móvel, Energia Charpy Instrumentado Média Móvel (E_{MM}).

Tabela 3 -Valores dos ensaios de tenacidade Charpy Instrumentado resultantes dos diferentes ciclos térmicos aos quais foram submetidos os cordões-de-solda – Tratamento Resfriamento contínuo.

Tipo de tratamento	Temperatura de austenitização [°C]	E_D (J)	E_{IW} (J)	E_{MM} (J)
Têmpera (resf. em água)	1225	44 (2)	34 (8)	38 (1)
	1000	30 (3)	28 (3)	27 (3)
	880	31 (4)	27 (4)	26 (4)
Normalização (resf. ao ar)	1225	125 (14)	118 (15)	117 (15)
	1000	196 (28)	178 (13)	176 (12)
	880	104 (32)	96 (33)	94 (33)
Recozimento (resf. no forno)	1225	122 (20)	117 (21)	116 (21)
	1000	201 (111)	183 (6)	182 (6)
	880	152 (15)	147 (16)	145 (15)

* valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Como se observa pelos resultados à energia obtida pelo ensaio Charpy Convencional apresenta valores ligeiramente maiores que os resultados obtidos pela integração da curva força x deslocamento. Os resultados de E_{IW} e E_{MM} estão próximos, porém na média são 16 % menores que os de E_D

Foram calculados os valores da tenacidade à fratura aparente, esse nome é dado devido ao corpo-de-prova ser arredondado e não pré-trincado como especifica a norma. Foram calculados dois tipos de tenacidade à fratura (K), um utilizando a força máxima (K_{IDMA}) e outro utilizando a força de iniciação de trinca (K_{IDPA}).

Tabela 4 -Cálculo da tenacidade à Fratura aparente, entalhe arredondado.

Tipo de tratamento	Temperatura de austenitização [°C]	K _{IDPA} (MPa*m ^{1/2})	K _{IDMA} (MPa*m ^{1/2})
Têmpera (resf. em água)	1225	78,92 (5,32)	97,01 (1,08)
	1000	62,46 (5,31)	84,99 (7,65)
	880	59,16 (3,59)	79,96 (4,56)
Normalização (resf. ao ar)	1225	52,40 (1,01)	73,82 (0,65)
	1000	51,16 (1,13)	72,52 (0,62)
	880	50,35 (0,78)	72,07 (2,44)
Recozimento (resf. no forno)	1225	46,41 (1,43)	68,41 (0,61)
	1000	47,75 (0,32)	70,68 (1,64)
	880	50,52 (0,02)	74,49 (0,46)

* valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

A Tabela 4 mostra duas tenacidades à fratura. Uma calculada sobre a força de início de trinca e a outra pela força máxima. Para materiais exibindo um comportamento mecânico essencialmente frágil sabe-se que o início do crescimento da trinca ocorre próximo ao ponto de carga máxima logo para esse tipo de material a aproximação da força máxima é válida. Para materiais que apresentam tanto comportamento frágil quanto dúctil a utilização da força de início de trinca é mais correta.

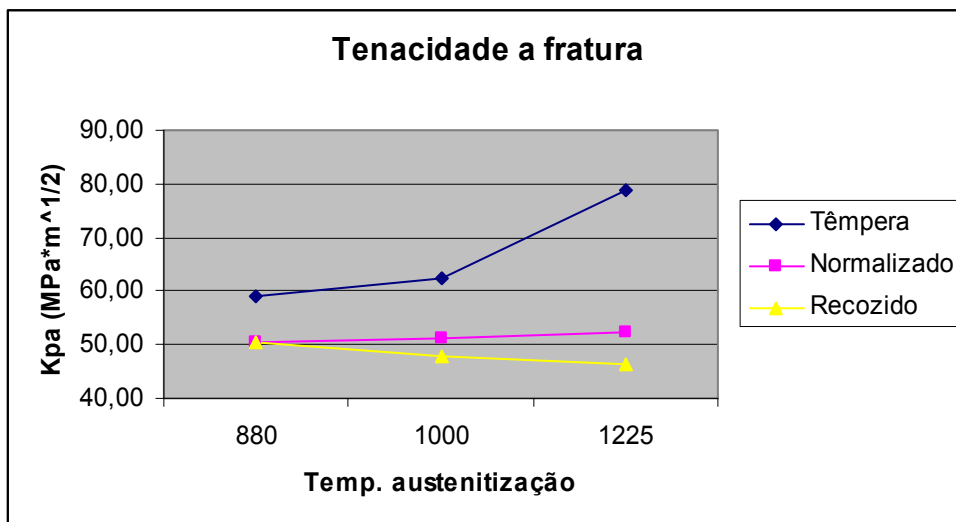


Figura 2 -Gráfico tenacidade à fratura dinâmica, condição resfriamento contínuo em diferentes temperaturas de austenitização.

Com os dados acima e utilizando a equação:

$$J_{el} = \frac{K^2(1-\nu^2)}{E}$$

Calculamos J_{ID} para a região elástica, considerando $\nu=0,3$ e $E=210\text{MPa}$.

Tabela 5 -Cálculo da tenacidade à Fratura aparente (J_A), entalhe arredondado.

Tipo de tratamento	Temperatura de austenitização [°C]	J_{PA} (kN/m²)	J_{MA} (kN/m²)
Têmpera (resf. em água)	1225	15,51 (1,88)	28,33 (3,17)
	1000	17,34 (3,03)	32,14 (6,02)
	880	27,63 (3,57)	41,60 (0,92)
Normalização (resf. ao ar)	1225	11,21 (0,35)	22,98 (1,53)
	1000	11,57 (0,51)	23,25 (0,40)
	880	12,14 (0,47)	24,09 (0,42)
Recozimento (resf. no forno)	1225	11,28 (0,01)	24,53 (0,30)
	1000	10,08 (0,14)	22,09 (1,02)
	880	9,53 (0,59)	20,69 (0,37)

* valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Observa-se o mesmo efeito dos dados em comparação com os resultados das tabelas anteriores. Pode-se ver com mais clareza a influência do tratamento na tenacidade da região elástica. No tratamento de têmpera com o aumento da temperatura de austenitização se aumenta a tenacidade à fratura dinâmica. Tratamentos térmicos menos severos diminuem a tenacidade na região elástica.

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como foco o estudo da influência de ciclos térmicos na microestrutura e nas propriedades mecânicas de junta soldada do aço COS Civil 300, soldado pelo processo arco submerso. O propósito foi, por intermédio de ciclos térmicos, investigar formas de se obter uma microestrutura que possibilite melhorar a tenacidade do cordão-de-solda de modo a minimizar o efeito do entalhe sobre esta região da junta soldada. As principais conclusões apuradas foram as seguintes.

O gráfico força x deslocamento nos fornece o valor da energia total absorvida através da área sob a curva. Os resultados obtidos pelos dados da Instron e pela média móvel são menores em comparação com o resultado do Dial, isso nos mostra que o método que está sendo utilizado não é totalmente preciso, sendo necessário

realizar algumas modificações no método para tentar melhorar essa aproximação.

Os fatores KID e JID foram calculados utilizando a força máxima e a força de início de trinca, como visto os resultados deram menores para a força de início de trinca esse fato pode ser considerado como uma aproximação mais realista, visto que esse ponto está situado entre a força de escoamento generalizado e a força máxima.

Um ponto importante nos resultados da tenacidade à fratura dinâmica se refere às temperaturas de austenitização. No caso da têmpera para temperaturas maiores de austenitização os valores de KID e JID cresceram significativamente, aproximadamente 25% da menor temperatura de austenitização para a maior. No caso do normalizado esse fato ocorreu, porém de forma mais atenuada de 880 para 1225°C houve um acréscimo de apenas 3% nos valores de tenacidade. Para o recozido ocorreu o inverso às tenacidades diminuíram para maiores temperaturas de austenitização.

REFERÊNCIAS

1. CERQUEIRA, E.O.; POPPI R.J., **Utilização de filtro de transformada de Fourier para a minimização de ruídos em sinais analíticos**
2. CHIAVERINI, V., **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamento térmicos, principais tipos**, 7 ed. – São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005
3. HERTZBERG, R. W. **Transition temperature approach to fracture control. In: Deformation and fracture mechanics of engineering materials**. 4.ed. New York: J. Wiley, p.297-323, 1995.
4. HOWARD, B. C. **Modern Welding Technology**. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.
5. IRELAND, D. R. **Critical review of instrumented impact testing. Journal of Dynamic Fracture Toughness**. v.1, p.47-62, 1977.
6. NOGUEIRA, F. C. **Influência do raio de ponta do entalhe, do tipo de carregamento e da microestrutura no processo à fratura do aço estrutural ABNT – 4340**. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2006.
7. RAMALHO, J. P. **Introdução a tecnologia de soldagem**. Disponível em <http://www.infosolda.com.br/introducao_a_soldagem.Htm#historico> . Acesso em: 20 junho 2004.

8. RODRIGUES, A. R. **Charpy Instrumentado – Determinação da tenacidade à fratura dinâmica de materiais metálicos**. Ilha Solteira, 2001. 119p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.
9. SILVA, O. F. , PANNONI, F.D., CBCA – Centro Brasileiro da construção em aço “*Aços estruturais*”, 2005
10. VILCHEZ, C. A. Z. **Influência de Ciclos Térmicos na Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Junta Soldada do Aço COS CIVIL 300**. 2005. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2005.
11. YAMAMOTO, I. KOBAYASHI, T. **Evolution Method of Dynamic Fracture Toughness by the Computer Aided Instrument Charpy Impact Testing System**. International Journal Pres. Ves. Piping, vol.55,p.295-312, 1993.
12. ZIEDAS, S.; TATINI, I. **Soldagem**. Coleção Tecnologia Senai, São Paulo, 1997.

INFLUENCE OF THE ROUTES OF COOLING IN THE DYNAMIC FRACTURE
TOUGHNESS WELDED JOINT STRUCTURAL STEEL COS CIVIL 300

ABSTRACT

The welding process are large-scale in the civil construction, for the manufacture of welded section. To rationalize costs of processing and employed materials it was developed plated technique of welding of plain without bevels in one side, however for this a weld with good mechanical properties must be get. Through the mechanical testing and mainly of the study of the dynamic fracture toughness of the weld metal, to show that through the thermal cycles such structure can be gotten. The material used was a structural steel submerged-arc welding. The plate has 5000x500x16mm and had been joined by two weld steps. The determination of the values of dynamic fracture toughness (K_{ID} and J_{ID}) was carried through from force-time curves, captured in an Instrumented Charpy machine. With such results discovered the great fragility of the weld fillet and others rate of cooling increase the mechanical properties.

Key-words: Instrumented Charpy, Weld fillet, dynamic fracture toughness.