COMPORTAMENTO MECÂNICO DE JUNTAS SOLDADAS EM BAIXAS TEMPERATURAS

BEHAVIOR OF WELDED JOINTS AT LOW TEMPERATURES

Cezar Tomio Fukushima[I]
Amarílis Longo Dalmazo[II]
Edmilson Antônio Sarni[III]
Maria Aparecida Bovério[IV]

RESUMO

O ensaio de impacto Charpy permite determinar a energia absorvida pelo material, propriedade mecânica conhecida como tenacidade. Conhecer essa energia, é fundamental para desenvolver um projeto onde há necessidade de comparação entre curvas de transição dúctil-frágil dos materiais. O objetivo desse trabalho é realizar o ensaio de Charpy em duas juntas soldadas com mesmo metal de base e metal de solda distinto, para averiguar se há mudança de comportamento de dúctil para frágil nessas juntas, que exigem altas resistências mecânicas na aplicação de trabalhos, que são muito utilizados no Brasil, país tropical, cujas médias de temperaturas ficam em torno de 25°C. Pensando na possibilidade de exportar peças similares à essas juntas soldadas para países onde os climas são mais rígidos, com temperaturas em torno de 0° a 60°C, foi verificado se esses materiais alteram seu comportamento com transição de dúctil para frágil e se conseguiu garantir a energia mínima de 27KJ, imposta do certificado de qualidade do fabricante. A temperatura de ensaio utilizada foi de -60°C e os resultados foram satisfatórios. Conclui-se que as duas juntas soldada, composta por metais base e metais de solda, são aptas a serem utilizadas em temperaturas adversas, no caso países com a demanda negativa de temperatura.

Palavras-chave: Juntas. Soldagem. Temperatura. Negativa. Impacto Charpy.

ABSTRACT

The Charpy impact test allows to determine the energy absorbed by the material, mechanical property known as tenacity. Knowing this energy is fundamental to develop a project where there is a need to compare between the dubious-fragile transition curves of the materials. The objective of this work is to perform the Charpy test on two welded joints with the same base metal and distinct weld metal, to verify if there is a change in behavior from ductile to fragile

[I] Graduando do Curso Superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) de Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: cezar.fukushima@fatec.sp.gov.br

[II] Graduanda do Curso Superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) de Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: amarilisdalmazo@hotmail.com

[III] Prof. Me. da Faculdade Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) de Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: edmilson.sarni@fatec.sp.gov.br

[IV] Profa. Pós-Dra. da Faculdade Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) de Sertãozinho – SP – Brasil. E-mail: maria.boverio@fatec.sp.gov.br

in these joints, which require high mechanical resistance scans in the application of works, which are widely used in Brazil, a tropical country, whose average temperatures are around 25°C. Thinking about the possibility of exporting parts similar to these welded joints to countries where the climates are more rigid, with temperatures around 0° to 60°C, it was verified whether these materials change their behavior with transition from dubious to fragile and it was possible to guarantee the minimum energy of 27KJ, imposed from the manufacturer's quality certificate. The test temperature used was -60°C and the results were satisfactory. It is concluded that the two welded joints, composed of base metals and weld metals, can be used at adverse temperatures, in the case of countries with negative temperature demand.

Keywords: Welded joint. Welding. Temperature. Negative. Impact.

Data de submissão do artigo: 08/09/2020.
Data de aprovação do artigo: 04/11/2020.
DOI: 10.33635/sitefa.v3i1.123

1 INTRODUÇÃO

O domínio do fogo foi um dos primeiros conhecimentos ligados à química adquirido pelo homem primitivo. Era uma tarefa que provavelmente se lhe apresentava como algo muito perigoso e difícil, associada que era a seres ou forças sobre-humanas e, por conseguinte, ao oculto, místico e religioso. Parece indiscutível que dessa descoberta vieram importantes benefícios relacionados à melhoria da qualidade de vida (CHASSOT, 1994).

Assim, quando se recua na história às origens do conhecimento químico, é possível encontrar em tempos imemoriais, nas mais diferentes civilizações, um grande número de tecnologias químicas, como as relacionadas com a alimentação (cocção, conservação com sal, produção de vinagre, vinho e cerveja); com a extração, produção e tratamento de metais; com a produção de esmalte e corantes; com o fabrico de utensílios de cerâmica, vidro, porcelana e metal; com a produção de pomadas, óleos aromáticos e venenos; com técnicas de mumificação; com a produção de materiais de construção como argamassa, tijolos, ladrilhos etc. (CHASSOT, 1994).

Desde a Pré-História a humanidade utiliza o metal como matéria prima para produção de ferramentas e objetos. A relação entre o Homem e os materiais se configurou tão significativa e importante, que as eras diferentes da humanidade receberam nome dos materiais mais importante, desde a Idade da Pedra à Era dos Metais (NAVARRO, 2006).

Para cada mudança de comportamento humano correspondiam o domínio e o uso de uma nova matéria-prima e aqueles mais eficientes nesse aspecto preponderavam sobre os outros, porque, desde sempre, as matérias-primas novas se destinavam em primeiro lugar para fins bélicos e só depois assumiam um aspecto doméstico ou caseiro. Assim, preponderava quem detinha o conhecimento e reservas do que se configurava como estratégico, e, assim como os alimentos, os materiais sempre acompanharam o Homem ao longo de sua história evolutiva: quanto mais avançada a civilização, mais estratégicos os materiais à sua disposição e mais elaborados e eficientes os artefatos e equipamentos produzidos (NAVARRO, 2006).

Quem não conhece, o famoso naufrágio do navio Titanic, quando do seu lançamento, o Titanic foi construído a partir das mais avançadas tecnologias disponíveis na época. Mas os rebites usados na sua construção podem não ter sido de boa qualidade. Pesquisadores que investigam o naufrágio do Titanic descobriram que a construtora pode ter utilizado rebites e

materiais similares de qualidade inferior, o que os torna quebradiços e propensos a fraturas (PAIVA, 2015).

Testes preliminares sugerem que o aço das placas do casco tornava-se frágil a cerca de 32°C. Isto contrasta com os aços modernos, onde a temperatura de transição dúctil frágil é de -27°C. Testes mais sensíveis, e que se aproximam mais das características do impacto do Titanic com o iceberg, sugerem que o aço do chapeamento do navio foi suficiente para dobrar-se, ao invés de fraturar (PAIVA, 2015).

Os rebites de qualidade inferior tinham maior concentração de impurezas (escória), o que os tornava vulneráveis às tensões de cisalhamento, justamente o tipo de impacto que foram submetidos naquela noite de abril de 1912. Testes de laboratório demonstraram que nas cabeças destes rebites podem ter surgido pressões extremas, que teriam permitido que as placas de aço se soltassem no casco, expondo suas câmaras internas ao ataque das águas (PAIVA, 2015).

Em mecânica é muito comum a necessidade de unir peças como chapas, perfis e barras. As peças a serem unidas exigem elementos de fixação como rebites, pinos, cavilhas, parafusos, porcas, arruelas, chavetas etc. por união móvel ou permanente. Para projetar um conjunto mecânico é preciso escolher o elemento de fixação adequado ao tipo de peças que irão ser unidas ou fixadas. Ainda é importante planejar e escolher corretamente os elementos de fixação a serem usados para evitar concentração de tensão nas peças fixadas. Essas tensões causam rupturas nas peças por fadiga do material (PAIVA, 2015).

Esse artigo apresenta os resultados da análise do comportamento do material de base STRENX 700 com o emprego dos metais de soldas E70C-6M e E110C-K4 H4 em temperaturas negativas.

Para isto realizou-se ensaios de impacto, com o objetivo de avaliar a tenacidade ao impacto dos materiais e determinar a energia utilizada.

Foram avaliadas as juntas de tôpo soldadas no processo GMAW, com chanfro em “V”. Os ensaios foram feitos em condições de temperatura negativa de -60 graus Celsius, conforme sugere o certificado do metal d e base STRENX 700. Três setores de cada região foram retirados da junta soldada, assim como, metal base, zona termicamente afetada (ZTA) e metal de solda.

.

2 ENSAIOS DE IMPACTO

Para a escrita dessa seção optou-se pela obra de Callister e Rethwisch (2016). Antes do advento da mecânica da fratura como uma disciplina científica, foram estabelecidas técnicas de ensaio por impacto com o objetivo de determinar as características de fratura dos materiais sob altas taxas de carregamento. Concluiu-se que os resultados obtidos em laboratório para ensaios de tração (sob baixas taxas de carregamento) não poderiam ser extrapolados para prever o comportamento à fratura. As condições dos ensaios de impacto eram escolhidas para representar as condições mais severas em relação ao potencial para uma fratura ocorrer, quais sejam, deformação a uma temperatura relativamente baixa, taxa de deformação elevada e estado de tensão triaxial (que pode ser introduzido pela presença de um entalhe) (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

O ensaio de impacto consiste em submeter um corpo de prova entalhado, padronizado, a uma flexão provocada por impacto por um martelo pendular; este tipo de ensaio permite determinar a energia utilizada na deformação e ruptura do corpo de prova, que é a medida da diferença entre a altura inicial do pêndulo h e a altura máxima atingida após a ruptura do corpo de prova h’. Quanto menor for a energia absorvida, mais frágil será o comportamento do material àquela solicitação dinâmica (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

O ensaio de impacto, por se tratar de um ensaio de baixo custo de confecção dos CPs (corpo de prova) faz dele um dos mais empregados para o estudo de fratura frágil nos metais. Pode-se determinar a tendência de um material a se comportar de maneira frágil. Para essa pesquisa o ensaio de impacto é o mais indicado, para extrair com precisão os resultados.

A condição escolhida para o ensaio é a temperatura -60Cº, a mais severa em relação ao potencial de ocorrência de uma fratura (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Uma das principais funções do ensaios de impacto, na formas Charpy e Izod consiste em determinar se um material apresenta uma transição dúctil-frágil com a diminuição da temperatura e, se esse for o caso, a faixa de temperatura na qual isso acontece, os aços amplamente utilizados podem exibir essa transição dúctil-frágil, com consequências desastrosas (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

A transição dúctil-frágil está relacionada com a dependência da absorção da energia de impacto em relação à temperatura. Em temperaturas mais elevadas, a energia CVN (Entalhe em "V" Charpy) é relativamente grande, o que corresponde a uma fratura dúctil. Conforme a temperatura é reduzida, a energia de impacto cai repentinamente ao longo de uma faixa de temperaturas relativamente estreitas, abaixo da qual a energia possui um valor constante, porém pequeno; isto é, ocorre uma fratura frágil (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

O corpo de prova é entalhado para permitir a localização da fratura e produzir um estado triaxial de tensões. Os corpos de prova geralmente utilizados para a realização do ensaio de impacto são: corpo de prova Charpy e corpo de prova Izod, ambos especificados pela norma ASTM E23 (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

O martelo é liberado a partir de uma altura fixa h e atinge o corpo de prova; a energia consumida na fratura é refletida na diferença entre as alturas h e h9 (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

3 PROCESSO *GAS METAL ARC WELDING (GMAW)*

O processo de soldagem GMAW é um dos mais utilizados industrialmente. Isto se deve principalmente à sua versatilidade, ao excelente nível de produtividade, confiança, facilidade de utilização e automatização. Tem ampla utilização nos diferentes ramos da indústria, pelo seu custo, produtividade, entre outras vantagens. É um dos processos mais utilizados na junção de materiais através da soldagem. É empregado na fabricação, manutenção, recuperação de peças de equipamentos e, também, em revestimentos de superfícies metálicas (MODENESI *et al*., 2011).

O processo de soldagem a arco com proteção gasosa define-se pela união de peças metálicas, o calor necessário para soldagem é obtido através de um arco elétrico estabelecido entre o metal base e o arame sólido ou tubular ou ainda eletrodo metálico nu alimentado por uma fonte de corrente contínua, na peça de trabalho. A proteção do arco na região da solda contra contaminantes da atmosfera, tais como nitrogênio, oxigênio e umidade, que prejudicam as propriedades mecânicas da junta, são utilizados gás ou misturas de gases que podem ser inertes ou ativos. E outra função dos gases é proporcionar a estabilidade do arco elétrico (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente houve a escolha do metal base onde se escolheu o Strenx® 700 MC Plus onde segundo o fabricante atende as necessidades físicas dos equipamentos e da mesma forma

foi feito com os arames. Para os ensaios foram confeccionados os corpos de prova e partimos para os ensaios laboratoriais.

Com base nos resultados laboratoriais efetuados nos laboratórios da empresa SIRIUS Inovação Tecnológica Eireli e ÉTICA Empreendimentos Tecnológicos, seguindo as normas de soldagem AWS D14.3/D14.3M:2019 – *Specification For Welding Earthmoving, Construction, Agricultural, and Ground-based Material Handing Equipment* e AWS B2.1/B2.1M:2014 – *Base Metal Grouping for Welding Procedure and Performance Qualification* e a norma de ensaio AWS B4.0:2016 - *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds*, utilizando o equipamento de ensaio de impacto por pêndulo, marca MFL – MOHR + FEDERHAFF + LOSENHAUSEN, MODELO PSW 30/15, a temperatura de ensaio -60ºC. Além de pesquisas bibliográficas baseando-se, principalmente em Callister e Rethwisch (2016); Marques, Modenesi e Bracarense (2011).

4.1 Materiais e métodos

Na realização da pesquisa laboratorial utilizou-se os materiais:

- **Strenx® 700 MC Plus**

O Strenx® 700 MC Plus atende ou supera os requisitos do grau S700MC na norma EN 10149-2. Ele é normalmente utilizado em aplicações altamente exigentes, que requerem uma superior capacidade de dobra, alta resistência ao impacto em condições de baixa temperatura e a capacidade de corte através de meios mecânicos. A tabela 1 mostra as propriedades já testadas pelo fabricante onde a temperatura é de – 60ºC com o teste Charpy, incluindo a composição química do metal base.

Tabela 1 - Propriedades de impacto

Temperatura teste	**Energia mínima para o teste Charpy V longitudinal em corpos de prova de 10 x 10mm**							
Longitudinal	40J/-60ºC							
Composição química								
C	Si	Mn	P	S	Al_{tot}	$Nb^{1)}$	$V^{1)}$	$Ti^{1)}$
(max %)	(max %)	(max %)	(max %)	(max %)	(max %)	(max %)	(max %)	(max %)
0.12	0.25	2.10	0.020	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
Carbono equivalente								
Espessura (mm)	3.0 - 11.4					11.5 - 12.0		
CET típico	0.24 (0.38)					0.26 (0.40)		

Fonte: Certificado SSAB (2017)

- **Metal de Solda - Arame E70C-6M**

O arame E70C-6M fabricado pela Lincoln Electric, foi escolhido pelo resultado do ensaio de impacto descrito na Tabela 2, onde segundo o fabricante resiste a temperatura de – 30ºC, pela composição química e propriedades semelhantes ao do metal base.

Tabela 2 - Análise Química (%)

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Cu
0,04	1,74	0,65	0,018	0,008	0	0,02	0,01	0,01	0,02
Ensaio de Impacto (Joule)									
Condição		Temp. (ºC)		C1	C2	C3	C4	C5	Méd.
AW		-30		55	65	56	33	47	53

Fonte: Certificado Lincoln Electric (2017)

- **Metal de Solda - Arame E110C-K4 H4**

Do mesmo critério foi escolhido o arame E110C-K4 foi escolhido pelo resultado do ensaio de impacto que segundo o fabricante HOBART FILLER METALS que resiste a temperatura de – 60ºC, com composição química e propriedades superior à do arame da Lincoln Electric e do metal base como mostra na tabela 3.

Tabela 3 - Análise Química (%)

C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	V	Ni	Mo
0.07	1.73	0.009	0.017	0.64	0.06	0.18	0.01	2.10	0.53
(Joule) Ensaio de Impacto									
Shielding Medium		Ref. No.	Testing Conddition		Temp.Fº(Cº)	Individuals ft; lb. (J)		Avg ft. lb. (J)	Type
M21-ArC-25		PD6434	As Welded		-60 (-51)	48, 48,48(65,65,65)		48 (65)	Charpy-V-Notch
M21-ArC10		PD6435	As Welded		-61 (-51)	48, 48, 48(65,65,65)		48 (65)	Charpy-V-Notch

Fonte: Certificado Hobart Filler Metals (2018)

O método para concluir o valor da energia absorvida pelo impacto foi o ensaio de impacto pelo método Charpy. A carga é aplicada como um impacto instantâneo, transmitida a partir de um martelo pendular balanceado, que é liberado de uma posição predeterminada a uma altura fixa h. O corpo de provas fica posicionado na base. Com a liberação, a aresta afilada do pêndulo atinge e fratura o corpo de provas no entalhe, que atua como um ponto de concentração de tensões para esse impacto da alta velocidade. O pêndulo continua o seu trajeto, elevando-se até uma altura máxima h9, que é menor que h. A absorção de energia, calculada a partir da diferença entre h e h9, é uma medida da energia do impacto (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Para atingir a temperatura negativa de 60ºC, utilizou-se nitrogênio líquido e álcool etílico, controlando a temperatura com um termômetro. Os corpos de prova foram mergulhados nessa solução. Assim atingindo a temperatura desejada foram feitos os ensaios de impacto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios foram realizados no equipamento de ensaio de impacto por pêndulo marca MFL - MOHR + FEDERHAFF + LOSENHAUSEN, MODELO PSW 30/15. Seguindo a norma AWS B4.0M: 2016 – Standard Methods for Mechanical Testing of Welds, utilizando o corpo de prova com as dimensões 10,00mm x 10,00mm por 55,00mm, com o material de base STRENX 700, com junta de Tôpo - Chanfro em "V" 60°.

Tabela 4 – Resultado do Metal Base Strenx® 700 MC Plus

Corpo de Prova (CP) Nº	Metal Base (MB) (J)
1	72,56
2	74,53
3	80,41
Média	75,83

Fonte: Ética Empreendimentos Tecnológicos (2019)

Na tabela 4 verificou-se os resultados dos 3 corpos de prova do Metal Base e foi usado como parâmetro para a comparação dos resultados dos ensaios do material soldado. Em seguida tirou-se a média dos resultados dos ensaios de impacto de cada arame.

Tabela 5 - Resultados Arame E110C-K4 H4 ø 1,20mm

Corpo de Prova (CP) Nº	Metal Base (MB) (J)	Zona Termicamente Afetada (ZTA) - MB (J)	Metal de Solda (MS) (J)
1	83,30	89,20	52,90
2	74,50	70,60	66,60
3	86,20	80,40	98,00
Média	81,33	80,07	72,50

Fonte: Ética Empreendimentos Tecnológicos (2018)

Nas tabelas 5 e 6 visualiza-se os resultados dos ensaios de impacto com os arames de solda E110C – K4H4 e E-70C6M no metal base STRENX 700, que demonstram que os resultados foram abaixo das expectativas, onde a média da ZTA do arame E-70C6M fica abaixo do ensaio de impacto do arame E110C-K4.

Tabela 6 - Resultados Arame E-70C6M ø 1,20mm

Corpo de Prova (CP) Nº	Metal Base (MB) (J)	Zona Termicamente Afetada (ZTA) - MB (J)	Metal de Solda (MS) (J)
1	37,26	33,34	48,05
2	39,22	35,30	50,99
3	39,22	31,38	49,03
Média	38,56	33,34	49,35

Fonte: Sirius Inovação Tecnológica Eireli (2019)

Seguindo criteriosamente a norma AWS B4.0:2016 para realização do ensaio, analisou-se os resultados e verificou-se que o arame E110C-K4 H4 teve melhor desempenho em relação ao arame E-70C6M. Comparando-se as tabelas 4 e 5 a região da ZTA nota-se a resistência do material maior onde os valores da ZTA não são muito diferentes do metal base.

Não foram realizados testes em temperatura ambiente para comparação, pois o objetivo foi analisar o comportamento dos materiais em temperaturas negativas e qual metal de solda será utilizado, pois o produto será exportado para países que a temperatura diferente do Brasil.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho buscou apresentar a importância do comportamento de juntas soldadas em temperaturas negativas, quando utilizados dois diferentes arames de solda, com o mesmo metal de base, para que seja possível a exportação de componentes para países que tenham as condições climáticas de temperaturas negativas, diferentemente do Brasil. Para tanto, é necessária que a fabricação seja precisa e adequada para atender as especificações climáticas, sem que haja perdas de resistência ou falhas comprometedoras.

O resultado dos ensaios, conforme mostrado, é que o arame de solda E110C-K4 H4 fabricado pela empresa Hobart Filler Metals teve o melhor desempenho no ensaio de impacto na temperatura de 60ºC negativos. Também se concluiu a importância de escolher corretamente o material de adição, antes da soldagem, para que haja compatibilidade com o metal de base. Neste estudo, observou-se que o metal de base STRENX 700 MC PLUS, tem características mais compatíveis com o arame E110C-K4 H4, devido à sua composição química como Manganês, Molibdênio e Níquel com características de resistências. Portanto, as medidas de controle e análise do material a ser empregado, no caso metais de base e arames, assim como o controle dos parâmetros elétricos no momento da soldagem, devem ser criteriosamente estudados e testados. A importância dessas verificações é crucial na indústria de peças metálicas que são destinadas à diversos clientes, com divergentes aplicações e características climáticas. Como na produção interna, nacional, não ou raramente se verificam as medidas de controle e análises desses materiais esses critérios de verificações tornam-se fundamentais para a produção de peças, principalmente para exportação.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). **D14.3/D 14.3 M**: specification for welding earthmoving, construction, agricultural, and ground-based material handling equipment: AWS, 2019

_____. **B2.1/B2.1M**: Base Metal Grouping for Welding Procedure and Performance Qualification: AWS,2014.

_____. **B4.0**: Standard Methods for Mechanical Testing of Welds: AWS, 2016.

CALLISTER, WILLIAM D JR; RETHWISCH, DAVID D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CHASSOT, A, I. A Ciência através dos tempos. 193p. São Paulo: Moderna, 1994.

MARQUES, PAULO VILLANI; MODENESI, PAULO JOSÉ; BRACARENSE, ALEXANDRE QUEIROZ. **Soldagem fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

MODENESI, Paulo José; COSTA, Maria Celeste Monteiro De Souza; SANTANA, Ivan J; BERGANHOLI, João Paulo Pereira. **Soldagem Insp**. v. 16. n.1. p. 12-021. São Paulo, 2011.

NAVARRO, RÔMULO FEITOSA. **A Evolução dos Materiais**. Parte 1: da Pré-história ao Início da Era Moderna, Campo Grande, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 1.1, ISSN 1809-8797, p. 2, 2006.

PAIVA, Ferraz de. **A tragédia do Titanic e os rebites não normalizados**. 2015. Disponível em: http://www.usinagem-brasil.com.br/10009-a-tragedia-do-titanic-e-os-rebites-nao-normalizados/. Acesso em: 09 jun. 2020.