



COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO E IMPACTO CHARPY EM METAL DE SOLDA DE JUNTAS DE AÇO ESTRUTURAL TEMPERADO E REVENIDO, SOLDADAS PELO PROCESSO A ARCO ELÉTRICO COM PROTEÇÃO GASOSA (GMAW), EM MODO CONVENCIONAL E PULSADO, UTILIZANDO ELETRODO DE ALMA METÁLICA (METAL CORED)

COMPARISON OF THE RESULTS OF THE TENSILE AND CHARPY IMPACT IN WELD METAL OF QUENCHED AND TEMPERED STRUCTURAL STEEL, WELDED BY ELECTRIC ARC PROCESS WITH GASEOUS PROTECTION (GMAW), CONVENTIONAL AND PULSED MODE, USING ELECTRODE OF SOUL METAL (METAL CORED)

Profa. Me. Mírian Isabel Junqueira Sarni – miriansarni@hotmail.com

Prof. Me. Edmilson Antônio Sarni – edmilsonsarni@hotmail.com

Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – SP – Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação comparativa dos resultados dos ensaios de tração e impacto Charpy em metal de solda de juntas de aço estrutural temperado e revenido, soldadas pelo processo a arco elétrico com proteção gasosa (GMAW) em modo convencional e pulsado, utilizando eletrodo de alma metálica (*metal cored*). As soldas foram realizadas em dois passes; cada um por lado de juntas preparadas com chanfro duplo “V” 60°. Foi constatada maior resistência mecânica para os metais de solda obtidos em modo convencional. A expectativa desta contribuição é que se disponibilizem maiores informações em metalurgia da soldagem para atender principalmente ao segmento de fabricação de equipamentos e sistemas mecânicos aplicados a serviços.

Palavras-chave: Aço temperado e revenido. Ensaios mecânicos. Eletrodo de alma metálica. Arco pulsado.

ABSTRACT

This paper presents a comparative evaluation of the results of the Charpy impact and traction tests in welded metal structural tempered steel joints, welded by the GMAW method in a conventional and pulsed mode, using metal cored electrode. The welds were realized in two passes, each one by side of joints prepared with double chamfer "V" 60°. Higher mechanical strength was observed in the welded metals obtained by the conventional mode. This contribution may provide more information about welding metallurgy to attend mainly the segment of manufacture of equipment and mechanical systems applied to abrasive services.

Keywords: Tempered steel. Mechanical tests. Metal cored electrode. Pulsed arch.

DOI:



1 INTRODUÇÃO

A soldagem é um processo metalúrgico amplamente utilizado nas indústrias de diversas áreas de atuação, motivo pelo qual os estudos dos processos de soldagem estarem sempre em evolução, procurando atender às exigências técnicas, redução de custos, aumento da produção e melhorias na qualidade. Na soldagem a arco elétrico com proteção gasosa (GMAW), uma potencial alternativa consiste na utilização de arco pulsado com eletrodo consumível do tipo tubular composto com pó metálico no núcleo, também conhecido como alma metálica ou *metal cored*.

O uso do arco pulsado amplia e muito a utilidade desse consumível ao facilitar a soldagem em todas as posições, sem perda na eficiência de deposição.

Quanto ao arco pulsado, desde sua origem, meados dos anos sessenta, o desenvolvimento da técnica é marcado por inovações tecnológicas oriundas fundamentalmente da evolução na eletrônica de potência. A contínua modernização dessas máquinas de solda, providas de microprocessadores e sensores, objetiva cada vez mais conjugar miniaturização, aumento de desempenho, flexibilidade e simplicidade operacional.

As considerações precedentes evidenciam que tanto a soldagem com *metal cored* quanto a utilização do arco pulsado, juntos ou separados, despertam grande interesse industrial e motivam muitos dos trabalhos em controle e produtividade do processo. No entanto, mesmo que a correta escolha do consumível seja importante para atender a esses interesses, há limitações evidentemente, impostas pela qualidade final da solda.

O objetivo deste trabalho foi comparar os valores dos resultados dos ensaios de tração e impacto Charpy em metal de solda utilizando a soldagem GMAW em condições de arco pulsado e convencional, com consumível de alma metálica depositado em aço estrutural temperado e revenido de elevada resistência ao desgaste. A expectativa desta contribuição é a disponibilização de maiores informações no âmbito da soldagem para o segmento industrial voltado à fabricação de equipamentos e sistemas mecânicos que operam em serviços abrasivos.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica a ser apresentada é relativa aos principais temas envolvidos na elaboração deste trabalho, ou seja, aços estruturais temperados e revenidos, processo de soldagem GMAW e ensaios de tração e impacto Charpy.

2.1 Aços estruturais temperados e revenidos

São aços que foram desenvolvidos na década de 50 a partir de aços para aplicação militar (blindagem). Esses aços são usados após tratamento térmico de têmpera e revenido e apresentam elevada resistência mecânica, com limite de escoamento da ordem de 700 MPa, associado com uma boa soldabilidade. Possuem boa ductilidade, boa tenacidade e boa resistência à fadiga. Têm como principal propriedade a resistência ao desgaste por abrasão. Para a soldagem de aços temperados e revenidos da classe ASTM A514/A517, um baixo aporte térmico é utilizado para se conseguir uma resistência mecânica adequada da junta (MODENESI, 2008).

2.2 Processo de soldagem

O desafio de atender aos requisitos de produtividade, aliando qualidade com menores custos de produção justifica a escolha de um processo de soldagem. Ao se analisar os processos de soldagem, Brandi, Wainer e Mello (1995) expõe dois pontos principais a serem tomados com muita atenção:

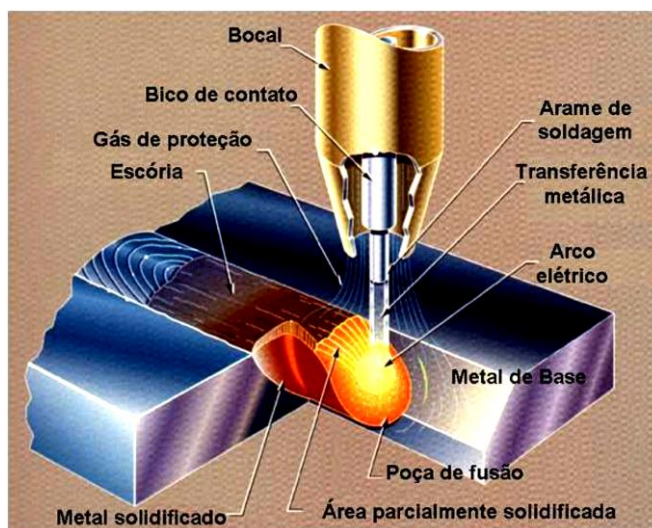
- os processos de soldagem baseiam-se em dados empíricos e são dependentes de um grande número de parâmetros, o que dificulta sua formulação matemática; e
- são dependentes quase que totalmente da habilidade e conhecimento do homem sobre o processo, e suas análises são extremamente difíceis, tornando complicado o controle do processo.

Existe um enorme interesse em avaliar tais fatores, cujo conhecimento seria de grande importância e utilidade para o aprimoramento dos processos de soldagem, tanto em aspectos produtivos quanto pela redução de custos de tais processos. Atualmente, existe uma forte



tendência na utilização de processos de soldagem e consumíveis que ofereçam vantagens tais como: taxas de deposição mais altas, menor perda de material de aporte e ciclos de trabalho maiores (não há troca de eletrodos), significando economia tanto no custo da mão de obra, quanto no uso de consumíveis. Este é o caso de se optar pelo processo por fusão a arco elétrico com proteção gasosa (GMAW), usando arco pulsado com eletrodo consumível do tipo tubular composto com pó metálico no núcleo, também conhecido como *metal cored* (FRENCH; BOSWORTH, 1995). A Figura 1 mostra esquematicamente o processo de soldagem GMAW.

Figura 1- Processo de Soldagem GMAW.



Fonte: Costa (2003)

2.3 Ensaio de tração e ensaio de impacto Charpy

O ensaio de tração consiste na aplicação de uma força, que, ao agir sobre uma superfície de um corpo sólido provoca uma deformação na direção do esforço produzindo uma pressão. Quando essa força tende ao alongamento, acontece o que chamamos de tensão de tração. O limite de resistência à tração é medido em MPa.

O ensaio de impacto Charpy determina a quantidade de energia que o corpo absorve quando submetido a um choque, a tenacidade do material, assim como o comportamento do material de maneira frágil. São largamente utilizados para determinar a energia de impacto ou a tenacidade de um corpo de prova padrão através da batida com um pêndulo. O peso em oscilação chamado martelo é elevado até uma altura inicial. Ao cair, absorve energia e rompe



o corpo de prova, continuando a sua trajetória até uma altura inferior à de partida. A diferença de altura entre as posições inicial e final se deve à perda de energia, e esta é a energia que foi absorvida pelo corpo para romper. Essa energia no Sistema Internacional (SI) é medida em Joule (J) (ZOLIN, 2010).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta parte serão apresentados os materiais, os equipamentos e os métodos utilizados para elaboração dos ensaios práticos para o propósito do trabalho.

3.1 Materiais

Para realizar experimentalmente a proposta do trabalho, utilizou-se como metal de base um aço estrutural temperado-revenido, sob a designação USI AR 360 VOQ fornecido na forma de chapas com 12,7 mm de espessura.

Como metal de adição, usou-se um arame tubular *metal cored* com a especificação AWS E70C-6M marca ESAB OK TURBROD 70MC, com diâmetro de 1,6mm.

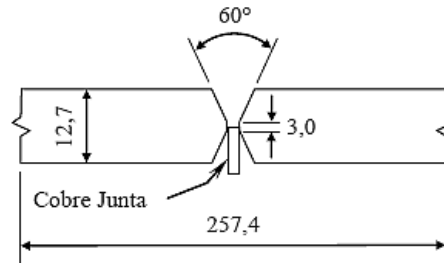
O arame consumível utilizado requer um gás auxiliar para melhor proteção ao arco voltaico e ao metal fundido. Aplicou-se uma mistura balanceada do gás de proteção contendo 80% Ar – 20% CO₂ com vazão de 320 cm³/s.

3.2 Procedimentos de soldagem

A partir do recebimento das chapas, procedeu-se ao corte de tiras com dimensões de 127mm de largura e 400mm de comprimento, preparadas para formarem chanfro duplo “V” com abertura de 60°, como ilustra a Figura 2.



Figura 2- Geometria e principais dimensões da junta utilizada.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para caracterização das condições de soldagem e definição dos parâmetros de pulso, realizaram-se testes preliminares, com o objetivo de garantir a estabilidade do arco elétrico durante a soldagem, bem como evitar a incidência de defeitos nos cordões, dentre os quais se destacam: falta de fusão, falta de penetração, poros, entre outros.

Realizou-se a soldagem na posição plana, com as chapas alinhadas e presas por grampos na bancada, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3- Bancada utilizada nas operações de soldagem.



Fonte: Elaborada pelos autores

As soldas foram realizadas em dois passes, um por lado da junta, nos modos de pulsação do arco elétrico e convencional, sem tratamento térmico de preaquecimento ou pós-aquecimento.

Tanto no modo pulsado quanto no convencional, realizou-se repetição da operação de soldagem em três juntas. Para o propósito comparativo, procurou-se manter constante o aporte de calor teórico no valor médio de 2,0KJ/mm. Com um mesmo aporte térmico é possível obter



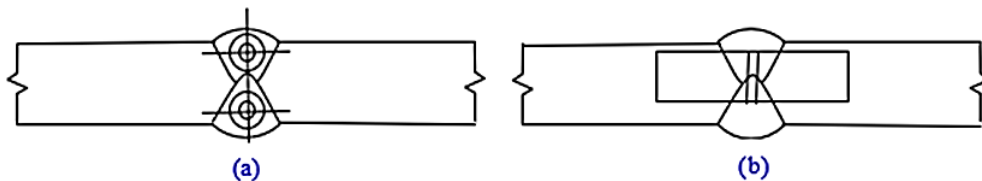
geometrias de solda diferentes. Isso porque os parâmetros individuais de soldagem (corrente, tensão e velocidade de soldagem) afetam o formato da solda de modos diferentes.

3.3 Ensaio mecânicos

As verificações mecânicas incluíram a realização dos ensaios de tração e impacto Charpy nos metais de solda, de acordo com a norma BS 709:1983. Como mostra a Figura 4, na tração retirou-se os corpos de prova da região central da zona fundida de cada passe e na direção paralela ao eixo longitudinal da solda, com os ensaios feitos a temperatura ambiente. Nos corpos de prova de impacto Charpy a orientação do entalhe foi perpendicular ao referido eixo e os ensaios praticados a temperatura de -30°C .

Para os ensaios de tração utilizou-se uma máquina universal KRATOSK15000 e para a realização dos ensaios de impacto foi utilizado um equipamento LBM 018- Pêndulo de impacto 300J (IGW-RM-204).

Figura 4- Localização da retirada dos corpos-de-prova para os ensaios (a)- tração e (b)- impacto.



Fonte: Elaborada pelos autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos dos ensaios realizados e sua posterior comparação.

4.1 Ensaio mecânicos

A Tabela 1 disponibiliza os valores das verificações mecânicas dos metais de solda.



Tabela 1- Resultados das verificações mecânicas dos metais de solda.

Parâmetros	1° Passe (lado 1)		2° Passe (lado 2)	
	Pulsado	Convencional	Pulsado	Convencional
Mecânicos				
σ_t (MPa)	574 ± 2	639 ± 1	531 ± 1,5	642 ± 2
σ_e (MPa)	472 ± 1	544 ± 10	460 ± 6	568 ± 5
A _f (%)	21,2	17,9	20,4	19,81
E _A (J)	32,7		33	

Fonte: Elaborada pelos autores

σ_t = limite de resistência à tração;

σ_e = limite de escoamento;

A_f = alongamento de fatura em 25 mm; e

E_A = energia absorvida.

Comparativamente, destaca-se a maior resistência mecânica alcançada nos metais de solda confeccionados no modo convencional.

Entre passes executados de um mesmo modo, pulsado ou convencional, o comportamento mecânico pode ser assumido como idêntico e as diferenças nos parâmetros de ductilidade e tenacidade ao impacto são insignificantes. No caso da tenacidade, o não acompanhamento da tendência de aumento com o aumento da resistência mecânica pode estar relacionado a prováveis e imponderáveis diferenciações nas interpenetrações dos cordões quando da execução dos segundos passes. O efeito resultante é de regiões distintas de zonas recristalizadas que tenham sido formadas por ocasião do reaquecimento do primeiro passe, quando da execução do segundo. Além disso, Kobayashi (1994) alerta para o efeito deletério de baixa tenacidade das microfases do tipo M-A (martensita-austenita retida) que, por efeito da elevada velocidade de resfriamento imposta a zona de fusão, sempre se desenvolvem no metal de solda.

Para a ductilidade a explicação perpassa por aspectos que vão desde a impossibilidade em manter as mesmas posições na retirada dos corpos de prova, dos metais de solda, até aqueles de boa fixação dos mesmos na máquina de ensaio. A capacidade de deformação que representa esta propriedade mecânica depende grandemente destes aspectos e da presença de inclusões não metálicas. No caso do *metal cored*, a formação de maior presença de inclusões não metálica



é uma possibilidade, tendo em conta que este eletrodo contém razoável quantidade de pó metálico no núcleo.

5 CONCLUSÃO

Para o procedimento experimental utilizado neste trabalho, conclui-se que os valores obtidos nos ensaios de tração são mais elevados quando se utiliza o modo convencional, sugerindo realmente a ocorrência de um refinamento microestrutural, com equivalente aumento de resistência mecânica, enquanto que as diferenças no resultado do ensaio Charpy são bem insignificantes.

REFERÊNCIAS

BRANDI, S.D.; WAINER, E.; MELLO, F.D. H. **Soldagem: Processos e metalurgia**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 99-132, 1995.

BS 709. **Methods of destructive testing fusion welded joints and weld metal in steel**. 1983.

COSTA, U. P. **Soldagem com Processo Arame Tubular e com Alma Metálica nos Segmentos Naval, On e Offshore e de Construção**. XXIX Consolda, Brasil, 2003, p. 01-16.

FRENCH, I. E.; BOSWORTH, M. R. A Comparison of Pulsed and Conventional Welding With Basic Flux Cored and Metal Cored Welding Wire. **Welding Journal**, v. 74, n. 6, p. 197s-205s, June, 1995.

KOBAYASHI, Y. **Efeito da adição controlada de pó metálico nas propriedades microestruturais e mecânicas no metal depositado por arco submerso em aço ARBL**. 1994. 125 p. Tese (Doutorado), EESC- Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1994.

MODENESI, P. J. **Soldabilidade de algumas ligas metálicas**. Belo Horizonte: UFMG, 2008.

ZOLIN, IVAN. **Curso técnico em automação industrial: ensaios mecânicos e análises de falhas** / Ivan Zolin. – 3. ed. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.