

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÕES APÓS O PROCESSO DE SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO NO AÇO SAE 1045

Otávio Favoretti do Nascimento, otavio.favoretti@gmail.com¹

Marcos Lessa Kugizaki, marcoslk@gmail.com²

Lucas Dias Schuller, shullerlucas@yahoo.com.br²

André Gustavo de Sousa Galdino, andregsg@ifes.edu.br¹

Temístocles de Sousa Luz, temistocles.luz@icloud.com²

Roberto Balarini Junior, robertobalarinijr@usp.br³

Aryadne de Jesus Picoli, ary.picoli@yahoo.com.br

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Avenida Vitória, 1729 – Jucutuquara, Vitória, Espírito Santo, CEP.: 29040-780.

²Universidade Federal do Espírito Santo, Avenida Fernando Ferrari, 514 – Goiabeiras, Vitória, CEP.: 29075-073.

³Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Avenida Prof. Mello de Moraes, São Paulo, CEP.: 05508-030.

Resumo: *Devido ao grande aporte térmico sofrido durante a operação de soldagem, tensões residuais podem ocasionar descontinuidades nas propriedades do material próximas à junta soldada, o que pode resultar em falhas, tais como trincas, corrosão localizada, rompimentos quando sujeitos a carregamentos cíclicos, entre outros. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades de dureza, resistência à tração e resistência ao impacto de juntas soldadas de aço SAE 1045 nas condições: apenas soldado; e soldado com posterior tratamento térmico para o alívio de tensões. Foram preparadas juntas soldadas de aço SAE 1045 e, em seguida, foi realizada a soldagem por arco submerso (SAW). Foram separados corpos de prova e submetidos a duas condições: apenas soldada (CPP); e soldada com posterior tratamento térmico de alívio de tensões realizado a 600°C por 30 min (CPTT). Com isso, foi possível avaliar e comparar as propriedades mecânicas de dureza, resistência à tração e resistência ao impacto das juntas em ambas as condições. Verificou-se que houve diminuição da dureza nas três regiões analisadas (zona fundida – ZF; zona termicamente afetada – ZTA; metal de base – MB) nos corpos de prova CPTT. A resistência ao impacto dos corpos de prova CPTT foi superior à do corpo de prova CPP, aliado a aumento no alongamento específico do conjunto. Verificou-se redução de 5% nos limites de resistência à tração, associado ao relaxamento das tensões residuais presentes na junta soldada, estes resultados demonstram assim a eficiência do tratamento térmico no alívio das tensões internas geradas no processo de soldagem.*

Palavras-chave: Aço SAE 1045, soldagem, arco submerso, tratamento de alívio de tensões.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem por arco elétrico é o processo de fabricação mais utilizado nas indústrias para fazer união de peças. Dentre os processos de soldagem, a soldagem por arco submerso (*Submerged Arc Welding* – SAW) é um processo que apresenta grande eficiência quando comparado a outros processos a arco elétrico, sendo bastante utilizada para fabricação de navios, plataformas marítimas, trocadores de calor, tanques e recuperação de peças e em muitas outras aplicações da indústria metalmeccânica (Machado, 1996; Paranhos e Souza, 1999).

Nesse tipo de processo, são empregados como consumíveis um arame alimentado continuamente, ficando pouco acima da peça e um fluxo fusível, que protege a poça de fusão contra contaminação atmosférica e que também ajuda a controlar a composição química e microestrutural do metal depositado (Gehring e Studholme, 1999; Paranhos e Souza, 1999). Wainer (2013) destaca que o fluxo, além de inibir a contaminação atmosférica, age também como isolante térmico, concentrando calor na parte sólida. Além disso, a quantidade de hidrogênio contida nas soldas metálicas realizadas pelo processo de arco submerso é, em geral, inferior a quantidade presente em outros processos de soldagem (Svensson, 1994).

Uma limitação presente em todos os processos de soldagem é a modificação da microestrutura do material e o surgimento de tensões residuais resultantes a partir da deformação sofrida pelo material devido às severas transformações termomecânicas. Essa tensão residual é uma tensão interna que não é resultante de carga aplicada externamente (Cullison, 2001). O surgimento de tensões nos materiais pode gerar falhas prematuras, tais como trincas, empenos e até mesmo fratura quando forem submetidas a esforços mecânicos (Modenesi, 2009; Wainer, 2013).

A presença das tensões residuais está ligada diretamente ao fenômeno da dilatação térmica provocada pelo arco elétrico gerado pelas fontes de energia, pois durante a soldagem ocorre o aquecimento instantâneo e heterogêneo, porém, restrito a uma parte no metal de base, causando tensões de compressão e expansão na peça (Codognotto e Cardoso Junior, 2011). Este aquecimento se dá devido à rápida elevação de temperatura, ou seja, a temperatura cresce a partir da temperatura ambiente, podendo alcançar a temperatura de fusão do material, o que pode causar aumento de volume no material. Contudo, como o restante do material não sofre aquecimento de forma semelhante às regiões adjacentes ao cordão de solda, o material não continua a dilatar. Assim, essa região ficará exposta a tensões de compressão, as quais aumentam continuamente até o material passar do limite de escoamento por compressão. Quando o material começa a resfriar, as tensões de compressão são aliviadas, enquanto as tensões de tração passam a atuar, podendo ultrapassar o limite de escoamento à tração. Dessa forma, o material se deforma para acomodar um elevado nível de tensões, ou seja, as tensões residuais em resposta a essas tensões (Zeeman, 2003).

Quando um equipamento está sujeito a tensões residuais de tração, essas podem comprometer seu uso, pois, caso o equipamento seja submetido a cargas de fadiga, as tensões residuais podem ser somadas com essas tensões durante o carregamento operacional, resultando, assim, em um índice de tensões muito mais elevado que o previsto para o projeto, causando efeitos como nucleação e propagação por trincas (Rodrigues, 2011).

Uma maneira para reduzir as tensões residuais é efetuar um pré-aquecimento para diminuir o gradiente térmico na junta soldada com o objetivo de se obter maior uniformidade no campo de deformação plástica. Outra maneira é aplicar o tratamento térmico para alívio de tensões (TTAT). De acordo com a ASM (1993), o tratamento térmico de alívio de tensões é geralmente considerado necessário para as soldas realizadas em aços de seção mais espessa, a fim de reduzir o elevado nível de tensão residual, melhorando a resistência e a tolerância a falhas na junta soldada. No TTAT o aquecimento da peça ocorre abaixo da linha crítica de transformação para que não ocorram mudanças de fase no material. Depois de atingida essa temperatura, o material permanece na mesma durante certo intervalo de tempo chamado de tempo de patamar ou encharque. As principais finalidades do tratamento estão ligadas ao aumento de ductilidade, redução de dureza nas zonas fundida e termicamente afetada e ao aumento de resistência a corrosão sob tensão (Codognotto e Cardoso Junior, 2011). Zeeman (2003) explica que a eficácia do tratamento é possível devido ao fato do aquecimento ser generalizado e às taxas de aquecimento e resfriamento serem realizadas de maneira controlada, evitando, assim, o surgimento de novas tensões.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades de dureza, resistência à tração e resistência ao impacto de juntas soldadas do aço SAE 1045 nas condições: apenas soldado; e soldado com posterior tratamento térmico para o alívio de tensões. O processo de soldagem utilizado foi a soldagem por arco submerso (SAW).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Soldagem e Tratamento Térmico para Alívio de Tensões

Primeiramente foram retiradas quatro chapas através do processo de corte por serra fita com as dimensões de 150 mm x 300 mm x 12,7 mm. A partir dessas peças, foram montadas duas juntas de topo conforme a norma ASME IX, com dimensões de 300 mm x 300 mm x 12,7 mm, possuindo chanfro em V com ângulo de chanfro de 60°, face de raiz (nariz) de 1,5 mm e abertura de raiz de 2 mm, como ilustrado na Figura 1.

A soldagem das juntas ocorreu pelo processo de soldagem por arco submerso (SAW), utilizando o arame AWS 5.17 EL 12 com diâmetro de 3,18mm, em que foram aplicados multipasses de soldas para preencher completamente a área do chanfro. O fluxo utilizado na soldagem das juntas foi o especificado conforme a norma ASME SF 5.9. Suas características consistem em ser um fluxo aglomerado básico, podendo ser utilizado para soldagens de mono ou multipasses em aços de média a alta resistência.

Para a soldagem das juntas, foi determinada uma tensão de aproximadamente 26 V, corrente oscilando entre 396 a 417 A e velocidade de 45 cm/min e distância do bico de contato e a peça (DBCP) de aproximadamente 15 mm, como é apresentado na Figura 1.

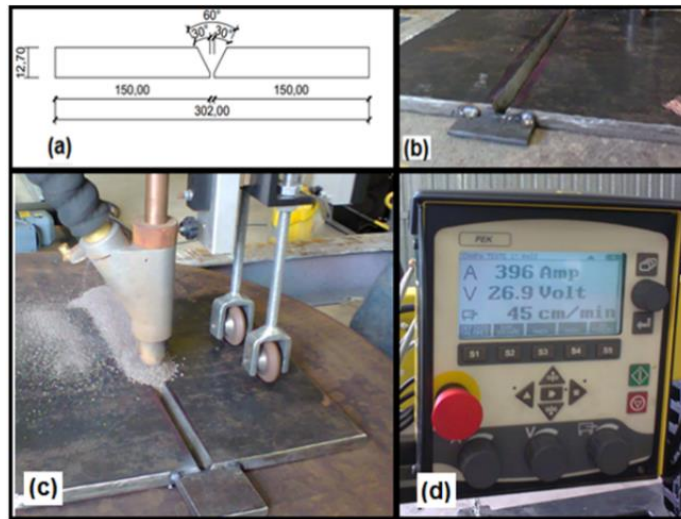


Figura 1 – Junta soldada: (a) Croqui do chanfro da junta; (b) Junta de Topo 300 x 300; (medidas em mm); (c) Junta recebendo soldagem via arco submerso; (d) Parâmetros utilizados para efetuar as soldas.

Após o processo de soldagem, uma das juntas foi mantida apenas soldada (CPP), enquanto a outra foi tratada termicamente para verificar o alívio de tensões (CPTT). O tratamento térmico realizado foi do tipo resistivo, no qual o aquecimento aconteceu por meio de resistências elétricas alimentadas por corrente contínua fornecida através de transformadores, com o controle de temperatura realizado com auxílio de termopares do tipo K.

Para realizar o tratamento, a peça foi acomodada em uma estufa composta por resistências elétricas e manta refratária. O tratamento foi conduzido de acordo com as especificações estabelecidas na norma AWS D1.1 (2010), que ressalta o tempo e a temperatura para condições de aquecimento, patamar e resfriamento. Como a espessura da junta soldada era igual a 12,7 mm e utilizando a norma AWS D1.1, se estabeleceu que a temperatura do tratamento térmico deveria ser de 600°C com encharque de 30 min, uma vez que a norma supracitada estabelece que, acima de 6 mm até 50 mm, o encharque deve ser de 15 min para cada 6 mm. O aquecimento foi livre até 300 °C, logo após foi feito um aquecimento no período de 60 min elevando a temperatura por meio de controladores presentes no equipamento até atingir 600°C.

O resfriamento foi realizado dentro da estufa até a temperatura de 300°C. Após alcançar o patamar de 300°C, a amostra foi retirada da estufa e resfriada ao ar livre.

A Figura 2 ilustra a estrutura da estufa utilizada para realizar o tratamento, destacando a localização dos termopares que foram instalados a aproximadamente 25 mm do cordão de solda.



Figura 2 – Junta sendo tratada: (a) Preparação da peça na estufa e posicionamento termopar; (b) Estufa fechada com isolamento térmico de lã de vidro.

2.2 Ensaios Mecânicos

Foram preparados corpos de provas a partir das juntas CPP e CPTT para realização de ensaio de dureza Vickers e de ensaios mecânicos de tração e de impacto.

2.2.1 Ensaio de Dureza

Foi realizado o ensaio de dureza Vickers utilizando-se a norma Petrobrás N- 1852 (2011), em que foi aplicada uma carga de 293 N com tempo de carga de 30 s no metal de base (MB), na zona termicamente afetada (ZTA) e na zona fundida (ZF).

O resultado de dureza Vickers foi obtido pela média e desvio padrão de seis impressões em cada região da junta soldada, a fim de alcançar um valor mais representativo. As impressões foram realizadas a aproximadamente 1 mm da superfície da junta soldada, com intervalos entre cada uma de 0,5 mm (Fig. 3). O ensaio de dureza foi realizado em um durômetro da marca Insize modelo ISH-BRV pertencente à Centro Universitário do Espírito Santo – UNESC – campus Colatina.

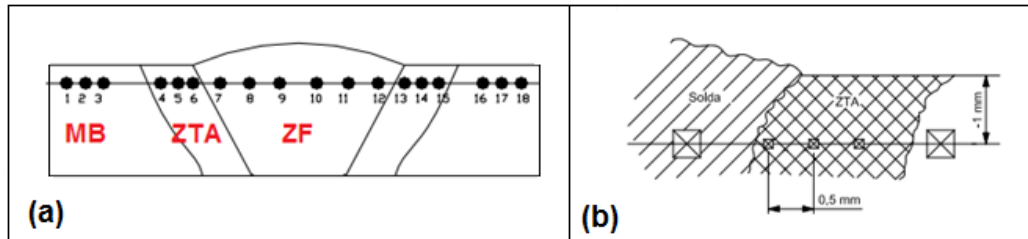


Figura 3- Localização das impressões, ensaios de dureza: (a) localização dos pontos por região; (b) distância das impressões, ensaios de dureza.

2.2.2 Ensaio de Tração

O resultado de limite de resistência à tração foi obtido da média aritmética e desvio padrão de três corpos de prova por cada condição. Os corpos foram confeccionados de acordo com a norma ASTM A370 (2002). As condições do ensaio de tração foram: velocidade do ensaio de 5mm/min, temperatura do ensaio de 20 °C. Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios da marca EMIC modelo DL 30000 de 30 kN pertencente ao Centro Universitário do Espírito Santo – UNESC - campus Colatina. Para avaliação do módulo de tenacidade de acordo com as curvas de tensão x deformação obtidas nos ensaios de tração para as condições CPP e CPTT, foram utilizadas as Eq. (1) e (2) propostas pelos autores Garcia *et al.* (2013), apresentadas a seguir.

$$\Delta U_t = \left(\frac{\sigma_{i+1} + \sigma_i}{2} \right) * (\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i) \quad (1)$$

$$U_t = \sum_{i=1}^N \Delta U_{ti} \quad (2)$$

2.2.3 Ensaio de Impacto

O ensaio de impacto utilizado foi o Charpy tipo A. No total, foram preparados doze corpos de provas com dimensões estabelecidas na norma ASTM A.370 (2002), sendo seis para os ensaios de impacto na zona termicamente afetada (ZTA) e os outros seis para análise na zona fundida (ZF). Dos seis corpos de prova utilizados para os ensaios em cada uma destas regiões, três foram mantidos na condição CPP e os demais três na condição CPTT.

Os entalhes dos corpos de prova foram realizados em posições diferentes para que fosse avaliado o comportamento das amostras CPP e CPTT submetidas ao impacto. Para verificar a resistência ao impacto na zona fundida, o entalhe foi realizado no centro do cordão de solda. Em contraste, para a verificação da resistência ao impacto na zona termicamente afetada, o entalhe foi estabelecido a aproximadamente 3 mm da borda do cordão de solda. A Figura 4 apresenta um croqui com a localização dos entalhes nos corpos de prova.

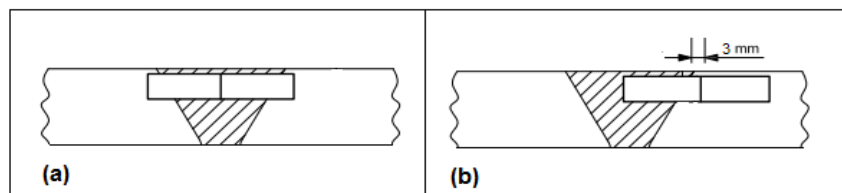


Figura 4 – Localização dos entalhes corpos de prova Charpy: (a) Entalhe realizado para avaliação das propriedades na solda; (b) entalhe realizado a 3 mm da borda do cordão de solda para avaliação das propriedades na ZTA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados do Ensaio de Dureza

A partir do ensaio de dureza foi possível verificar mudanças nas características superficiais das amostras, no qual foram analisados três pontos distintos na junta soldada (MB, ZTA e ZF). Os resultados estão apresentados na Tabela 1, no qual são citados os valores médios obtidos entre as seis impressões efetuadas em cada região, conforme ilustrado na Fig. 3, sendo comparados os valores entre os corpos de provas para as condições CPP e CPTT.

Tabela 1 – Média entre impressões realizadas nas regiões das juntas soldadas.

Condição para corpo de prova	Dureza obtida nas regiões da junta soldada (HV 293)		
	Metal de Base	Zona Termicamente Afetada	Zona Fundida
CPP	248,4 ± 12,6	245,7 ± 10,8	181,5 ± 4,5
CPTT	211,8 ± 9,7	206,9 ± 20,3	175,2 ± 7,3

Observando a Figura 5, é possível visualizar a mudança na dureza superficial em função da distância, de maneira gráfica, ocasionada pelo tratamento térmico de alívio de tensões sobre as três regiões presentes nas juntas soldadas.

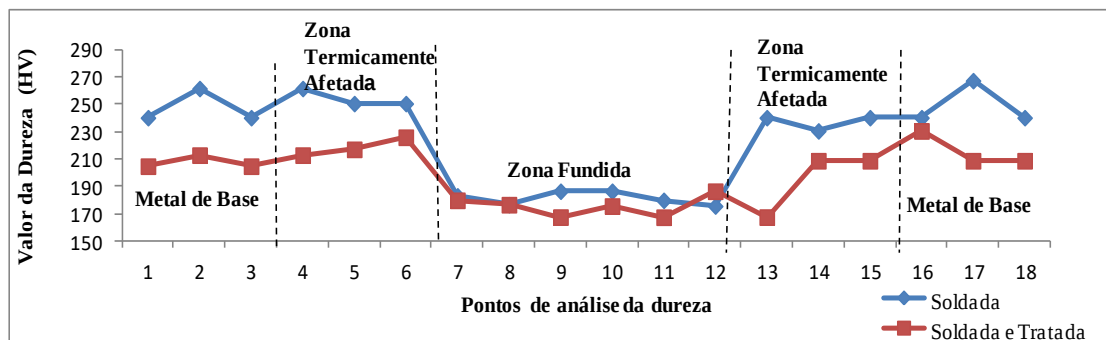


Figura 5 – Comportamento da dureza em função das áreas investigadas.

Chiaverini (2008) afirma que, uma vez que a temperatura de tratamento térmico não exceda a temperatura da zona crítica do metal, espera-se que a ductilidade aumente e a resistência mecânica e a dureza diminuam. Os resultados de dureza obtidos na condição CPTT diminuíram quando comparados com os obtidos na condição CPP nas três regiões da junta soldada (MB, ZTA e ZF). Outro fato que faz com que ocorra o decréscimo na dureza do material é a reorganização na estrutura do material, pois a temperatura utilizada no tratamento não ultrapassa a temperatura de austenitização, fato esse que faz com que não ocorra nenhuma transformação nos grãos do material, apenas uma nova reorganização.

Morais Junior (2008) também realizou o mesmo tipo de tratamento térmico em uma junta soldada e obteve redução de dureza nas três regiões distintas presentes na junta soldada. O autor explica que essa redução está ligada diretamente ao tratamento, uma vez que as tensões internas são aliviadas da microestrutura do metal de solda, tornando-o mais dúctil. Outra justificativa para redução da dureza citada pelo autor é devido à precipitação de alguns elementos que estavam previamente em solução sólida.

A redução da dureza obtida na condição CPTT apresenta grande importância em alguns processos de fabricação, nos quais é necessário aplicar algum processo de usinagem após a soldagem. Essa importância atribuída ao aumento da vida útil das ferramentas de cortes aplicadas nos processos de usinagem em função do alívio de tensões (verificado pela redução da dureza).

3.2 Resultados do Ensaio Charpy Tipo A

Os resultados obtidos no ensaio de impacto para avaliar o comportamento na ZTA e na ZF estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado ensaio de impacto Charpy.

Condição do corpo de prova	Energia absorvida no ensaio (J)	
	ZTA	ZF
CPP	35 ± 5,7	81 ± 7,8
CPTT	43,3 ± 10,2	103 ± 4

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 2 e correlacionando-os com os resultados de dureza apresentados na Tab. 1, verifica-se que após tratamento térmico houve aumento na energia absorvida da junta soldada de aproximadamente 23% na energia absorvida na ZTA e de 27% na zona fundida, visto que, o tratamento conferiu à junta maior capacidade de absorver energia durante impacto. A comparação entre os resultados de resistência ao impacto das juntas CPP e CPTT está ilustrada na Fig. 6.

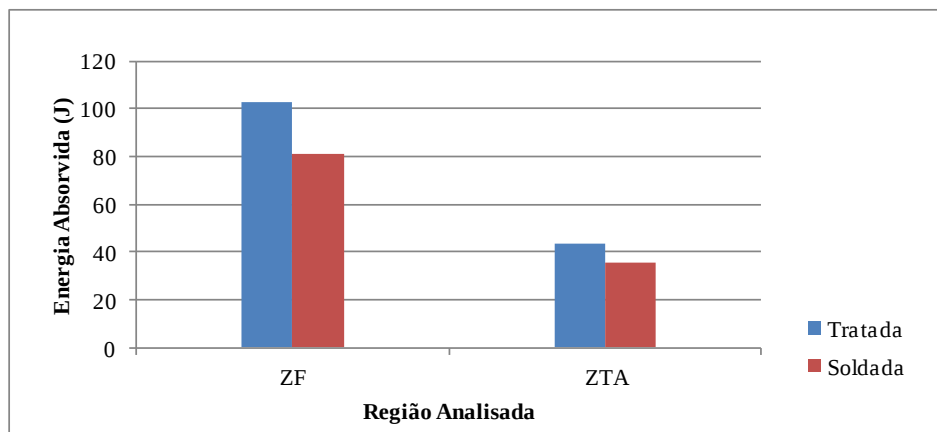


Figura 6 – Valores médios de energia absorvida pelos corpos de prova CPP e CPTT.

Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com os apresentados por Fontes (2008), que realizou ensaio de impacto em juntas apenas soldadas e em juntas tratadas termicamente tanto na ZF quanto na ZTA e obteve valores inferiores de energia absorvida para as juntas soldadas, quando comparados com os das juntas tratadas termicamente. O autor supracitado também constatou que quando a temperatura do tratamento é elevada para 720°C, dentro da zona crítica de temperatura, o material apresentou perda da energia absorvida por impacto.

Uma explicação para o aumento na energia absorvida nas peças tratadas é devido ao fato da temperatura utilizada no tratamento não passar pela temperatura de austenitização e, então, quando é realizado o resfriamento da peça, não são formados novos constituintes na estrutura do material, como a austenita e martensita, uma vez que essa última possui, por exemplo, elevada dureza e baixa tenacidade, características bastante difundidas na literatura (Chiaverini, 2008).

3.3 Resultados do Ensaio de Tração

Os ensaios foram realizados em tréplica para cada condição (CPP e CPTT), sendo obtidos os valores médios de tensão de escoamento ($\sigma_{0,2}$) e de limite de resistência à tração (σ_u). Tais valores estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de tração.

Condição corpo de prova	Propriedades mecânicas	
	$\sigma_{0,2}$ (MPa)	σ_u (MPa)
CPP	478,02 ± 14,90	612,69 ± 12,27
CPTT	439,54 ± 7,06	569 ± 9,88

O diagrama tensão em função da deformação para as condições CPP e CPTT está ilustrado na Figura 7. Nele é possível observar que o limite de resistência à tração da condição CPTT apresentou um decréscimo de cerca de 5% em relação ao da condição CPP. Essa diminuição aconteceu devido ao relaxamento das tensões residuais presentes na junta soldada e também à redução das desigualdades presentes nas regiões da junta soldada de acordo com a literatura.

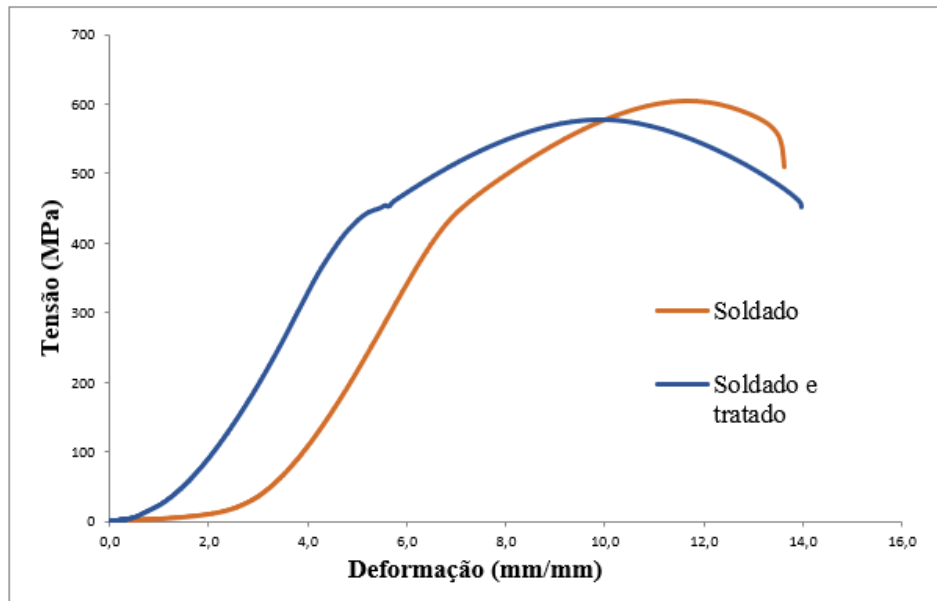


Figura 7 - Diagrama Tensão em função da Deformação dos ensaios de tração realizados nos corpos soldados e soldados e tratados.

Morais Junior (2008) também realizou o ensaio de tração em uma junta soldada que passou pelo mesmo tipo de tratamento e também obteve redução no limite de resistência à tração em cerca de 4% do material tratado a temperatura de 585°C. Para o autor, essa redução está diretamente relacionada à precipitação dos elementos que estavam em solução sólida antes de serem tratados.

Nas condições apresentadas na Figura 7 e por meio dos valores do módulo de tenacidade calculados por meio das Eq. (1) e (2) apresentados na Tab. 4, é possível observar que a junta CPTT se comportou de maneira mais tenaz quando comparado com a junta CPP, o que pode ser confirmado pelo fato da condição CPTT apresentar área no diagrama tensão em função da deformação superior à condição CPP. Dessa forma, é possível afirmar que o material tratado termicamente obteve aumento da tenacidade além de maior alongamento até a ruptura.

Tabela 4 – Valores médios do módulo de tenacidade para as condições CPP e CPTT.

Condição corpo de prova	Propriedade mecânica
	$U_t (N.mm/mm^3)$
CPP	3439,14
CPTT	4026,18

4. CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios de dureza, resistência ao impacto e resistência à tração em juntas soldadas de aço SAE 1045 por SAW pode-se concluir que:

- O tratamento térmico de alívio de tensões proporcionou na junta CPP mudanças nas propriedades mecânicas dos materiais;
- O tratamento térmico conferiu à junta CPPT aumento da energia absorvida por impacto, atribuído à temperatura de trabalho;
- A junta CPTT obteve pequeno aumento no alongamento durante o ensaio de tração, o que acarreta em maior deformação até a ruptura;
- Houve redução da dureza na junta CPTT quando comparada com a junta CPP nas regiões MB, ZTA e ZF, indicando possível reorganização estrutural na região termicamente afetada;
- O tratamento térmico de alívio de tensões proporcionou o relaxamento das tensões residuais geradas pelo aporte térmico gerado pelo arco elétrico durante o processo de soldagem realizado;
- A literatura cita que as tensões internas começam a ser aliviadas após a elevação da temperatura ambiente, com maior eficácia a partir dos 500 °C. Essa informação foi confirmada nesse trabalho, uma vez que a temperatura de tratamento foi de 600°C.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário do Espírito Santo – UNESC, por todo o suporte técnico oferecido para a preparação e avaliação dos corpos de provas. Ao Laboratório de Soldagem da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

6. REFERÊNCIAS

- ASM HandBook, 1993, “Metals Handbook Volume 6 – Welding Brazing and Soldering”, ASM International, pp.2873.
- ASTM, American Society for Testing and Materials, 2002, “Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel products”.
- AWS, American Welding Society, 2010, “D1.1/D1.1M, Structural Welding Code – Steel, pp.556.
- Chiaverini, V., 2008, “Aços e Ferros Fundidos”, 7ª Ed, São Paulo: Editora ABM, pp.599.
- Codognotto, M. e Cardoso Junior, R., 2011, “Tratamento Térmico de Alívio de Tensões na Soldagem”, Revista Solução, Minas Gerais, n.15, pp. 60-62.
- Cullison, A., 2001, “Stress Relief Basics: Structural designers must be aware of residual stress in weldments and common methods used to relief it”, Welding Journal, v. 80, pp.49.
- Fontes, C. H. M., 2008, “Juntas de Aço Baixa Liga Soldadas com Diferentes Consumíveis – Efeito do Tratamento Térmico de Alívio de Tensões nas Características Metalúrgicas das Soldas”, Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgicas e de Materiais), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Garcia, A., Spin, J. A., Santos, C. A., 2013, “Ensaaios dos Materiais”, 2ª Ed, Rio de Janeiro: LTC, pp.365.
- Gehring, M. and Studholme, S., 1999, “Fabricators Pleased with Increased Submerged Arc Productivity from Cored Wires, Svertsaren”, v. 1-2, pp.70-72.
- Machado, I. G., 1996, “Soldagem e Técnicas Conexas: Processos”, Porto Alegre: editado pelo autor, pp.477.
- Marques, P. V., Modenesi, P. J., Bracarense, A. Q., 2009, “Soldagem: fundamentos e tecnologia”, Belo Horizonte: Editora UFGM, pp.362.
- Moraes Junior, J. M., “Influência do Tratamento térmico de Alívio de Tensões Pós-soldagem na Microestrutura e Comportamento Mecânico de Soldas Produzidas com Arame Tubular Rutilico”, Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais), Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo, Lorena.
- Paranhos, R. and Souza, A.C., 1999., “Soldagem a Arco Submerso”, Ed. Coleção Soldagem 2000, FIRJAN/SENAI, v. 2, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.
- Petrobras, 2011, “N-1852: Estruturas Oceânicas – Fabricação e Montagem de Unidades Fixas,” pp.61.
- Svensson, L.E., 1994, “Control of Microstructures and Properties in Steel Arc Welds”, CRC Press, pp.240.
- Rodrigues, T. V., 2011, “Tratamento Térmico Pós-Soldagem para Alívio de Tensões Residuais em Chapas de Aço Soldada: Modelagem e Análise Experimental”, Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro.
- Wainer, E. , Brandi, S. D. B., Mello, F. D. H. de, 2013, “Soldagem: Processo e Metalurgia”, 9 ed. São Paulo: Editora Blucher, pp.494.
- Zeemann, A., “Tensões Residuais de Soldagem”, Infosolda, Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/images/Downloads/Artigos/metaltenses-residuais-na-soldagem.pdf>>

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EVALUATION OF HEAT TREATMENT OF TENSION RELIEF AFTER THE PROCESS OF SUBMERGED-ARC WELDING IN STEEL SAE 1045

Otávio Favoretti do Nascimento, otavio.favoretti@gmail.com¹

Marcos Lessa Kugizaki, marcoslk@gmail.com²

Lucas Dias Schuller, shullerlucas@yahoo.com.br²

André Gustavo de Sousa Galdino, andregsg@ifes.edu.br¹

Temístocles de Sousa Luz, temistocles.luz@icloud.com²

Roberto Balarini Junior, robertobalarinijr@usp.br³

Aryadne de Jesus Picoli, ary.picoli@yahoo.com.br

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Avenida Vitória, 1729 – Jucutuquara, Vitória, Espírito Santo, CEP.: 29040-780.

²Universidade Federal do Espírito Santo, Avenida Fernando Ferrari, 514 – Goiabeiras, Vitória, CEP.: 29075-073.

³Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Avenida Prof. Mello de Moraes, São Paulo, CEP.: 05508-030.

Abstract: Due to the high thermal input during the welding process, residual stresses may cause discontinuities in the material properties close to the weld joint, which can result in failure, such as cracking, localized corrosion, fatigue failure, among others. The present work had as main objective to evaluate the properties of hardness, tensile strength and impact resistance of welded joints of SAE 1045 steel in two conditions: only welded (CPP); and welded with post weld heat treatment at 600 ° C for 30 min (CPTT). Welded joints of SAE 1045 steel were developed and then submerged arc welding (SAW) was performed. Thus, it was possible to evaluate and compare the mechanical properties of hardness, tensile strength and impact strength of joints in both conditions. The results showed that there was decrease of the hardness in the three analyzed regions (melted zone - ZF, thermally affected zone - ZTA, base metal - MB) in test specimens CPTT. The impact strength of the CPTT test specimens was higher than that of the CPP test specimen, combined with the increase in the specific elongation of the set. A 5% reduction in the tensile strength limits, associated to the relaxation of the residual stresses present in the welded joint, results, thus demonstrates the efficiency of the heat treatment in the relief of the internal stresses generated in the welding process.

Keywords: SAE 1045 steel, welding, submerged arc, stress relief treatment.