AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO E DUREZA DE JUNTAS DE AÇO CSN COR-420 SOLDADAS COM ELETRODO E6013 APÓS TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÕES

Rafael Henrique de Oliveira⁽¹⁾ (rafael.henrique206@gmail.com), Leandro Elias Basmage Pinheiro Machado⁽²⁾ (leandro.machado@anhanguera.com), Thiago Lopes Quevedo⁽³⁾ (thiagoquevedo@ufpr.br)

⁽¹⁾ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS); Instituto de Física.

⁽²⁾ Centro Universitário Anhanguera de Campo Grande; Coordenação de Engenharia Mecânica

⁽³⁾ Universidade Federal do Paraná (UFPR); Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

RESUMO: *Realizou-se uma avaliação de propriedade mecânicas de juntas soldadas produzidas através do processo a arco elétrico com eletrodos revestidos E6013 em aço CSN COR-420. O estudo proposto se justifica face a fragilização de juntas soldadas pelo uso indiscriminado de eletrodos rútilicos, como o E6013, em soldagens a campo (sem critérios técnicos) em aços de alta resistência e baixa liga. O objetivo foi mensurar a resistência mecânica sob tração uniaxial, assim como a dureza de algumas regiões dessas juntas através da do ensaio de dureza Rockwell C. Os resultados indicam que o tratamento térmico por alívio de tensões trouxe melhoras nos valores de resistência à tração e uniformização do perfil de dureza, porém não se observou ganhos na ductilidade nas juntas tratadas.*

PALAVRAS-CHAVE: SOLDA, TRATAMENTO TÉRMICO, RESISTÊNCIA MECÂNICA.

EVALUATION OF THE TENSILE STRENGTH AND HARDNESS OF CSN COR-420 STEEL JOINTS WELDED WITH ELECTRODE E6013 AFTER STRESS RELIEVING HEAT TREATMENT

ABSTRACT: *A mechanical property evaluation of welded joints produced through the electric arc process with coated electrodes E6013 in CSN COR-420 steel was carried out. The proposed study is justified by the weakening of welded joints by the indiscriminate use of rutile electrodes, such as E6013, in field welds (without technical criteria) in high strength and low alloy steels. The objective was to measure the mechanical strength under uniaxial traction as well as the hardness of some regions of these joints through the Rockwell C hardness test. The results indicate that the stress relief treatment brought improvements in tensile strength and uniformity of the hardness profile, but no gains were observed in the ductility in the treated joints.*

KEYWORDS: WELDING, HEAT TREATMENT, MECHANICAL STRENGTH.

1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos foram desenvolvidos uma gama de métodos e operações de soldagem, cada vez mais se voltando a atender aspectos específicos de fabricação, levando em consideração o material base e de enchimento, resistência e solicitações mecânicas, posições de soldagem, além do ambiente no qual a peça ou junta soldada trabalhará.

Mesmo seguindo as diversas recomendações técnicas por instituições importantes, tais como a *Organization for Standardization (ISO)*, *American Welding Society (AWS)*, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), etc., as soldas ainda estarão sujeitas às descontinuidades e defeitos, pois há múltiplos fatores que influenciam na operação de soldagem. Em razão disso, operações complementares como tratamentos térmicos são aplicados antes ou posterior a soldagem no intuito de se amenizar deficiências do processo, eliminar descontinuidades e evitar os defeitos na junta soldada.

Em termos de soldagem dos aços de alta resistência e baixa liga denominados (ARBL ou HSLA), estes podem ser soldados por qualquer processo de soldagem a arco elétrico, porém considerações técnicas e metalúrgicas, como já citadas anteriormente devem ser respeitadas. A exemplo do material de enchimento, o qual deve ser compatível com o aço, e não se recomenda a utilização de eletrodos rútilicos para esses tipos de aço (ARBL), tendo em vista que o metal de solda apresentará um nível de hidrogênio alto e a junta soldada será fragilizada em razão da inclusão do hidrogênio.

Frequentemente operações de soldagem feitos fora de fábrica ou a campo, tem negligenciado ou desconhecem os avanços alcançados em soldagem em termos técnicos e tecnológicos, já que estas recomendações informadas em normas e por fabricantes de eletrodos, equipamentos para as operações de soldagem não são aplicadas conforme indicadas.

Um caso prático é adoção do eletrodo rútilico E6013 para a soldagem do aço ARBL CSN COR-420, este é muito utilizado em projetos de contêiner para trens de carga, exaustores industriais, escavadeiras, trocadores de calor, implementos agrícolas, entre outros. Embora, eletrodo E7018 seja o indicado, pois possui baixo hidrogênio em seu revestimento e propriedades adequadas para o aço em questão.

O principal problema gerado com essa operação inadequada é a fragilização causada pelo alto hidrogênio na estrutura da solda, uma vez que é passível ocorrência de fratura tipicamente frágil e retardada, podendo imprevisivelmente ocorrer em dias ou semanas, e sem dúvidas geram prejuízos financeiros e, acima de tudo, as questões de segurança atreladas ao problema, pois este aço e os outros pertencentes à categoria ARBL são aplicados em elementos e estruturas de grande responsabilidade em projetos.

Visando contribuir com a discussão dessa problemática, este trabalho buscou avaliar comparativamente propriedades mecânicas de juntas soldadas tratadas e não tratadas termicamente após soldagem com eletrodo revestido E6013 em aço COR-420.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de reproduzir as condições de soldagem a campo, foram preparadas soldas em chapa de 5 mm de aço CSN COR-420, sendo este um aço estrutural com adição de diversos elementos de liga, conforme Tabela 1, que lhe confere combinações de melhores propriedades mecânicas, na soldagem e resistência à corrosão, em relação aos aços carbono convencionais.

TABELA 1. Composição Química do Aço CSN COR 420.

Norma Técnica	Composição Química (%)								
	C	Mn	P	S	Cu	Si máx.	Nb máx.	Al	Cr
CSN COR-420	*0,17	*1,00	*0,025	*0,025	0,20-0,50	*0,35	-	0,015-0,07	0,55-0,80

*Percentual máximo

Fonte: Companhia Siderúrgica Nacional (2019).

Os elementos de liga como o cobre, o cromo e o fósforo, proporcionam a formação de um filme de óxidos compacto e aderente à superfície, que funciona como uma barreira entre o aço e o ambiente, protegendo-o contra a corrosão (RULKOWSKI *et al.*, 1992).

No que se refere à resistência mecânica, os valores apresentados na Tabela 2 indicam que o CSN COR-420 é um aço de média resistência.

TABELA 2. Propriedade Mecânicas do Aço CSN COR-420

Propriedades Mecânicas				
Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (Mpa)	Alongamento		
		Espessura (mm)	Base de Medida (mm)	Valor min. (%)
300	420	Qualquer	50	20
			200	18

Fonte: Companhia Siderúrgica Nacional (2019).

As juntas soldadas foram do tipo topo realizadas por um operador comum, não certificado, através do processo a arco elétrico com eletrodo revestido. É importante lembrar que uma junta soldada

ou *joint welding* é a região entre duas ou mais peças que foram unidas através da soldagem, a qual é formada pelo cordão de solda, metal base e partes que tiveram alterações metalúrgicas em decorrência do calor fornecido pela operação de soldagem (MARQUES e MODONESI, 2006; AWS, 1991). A figura 1 indica de forma esquemática as diferentes regiões que constituem uma junta soldada.

FIGURA 1. Representação esquemática de uma junta soldada do tipo topo. Fonte: Marques e Modonesi (2006).

Destaca-se ainda que a regulagem da máquina foi realizada pelo soldador onde nenhum parâmetro para realização do processo foi especificado e tão pouco foi feito preaquecimento nas peças, como mencionado, buscou-se reproduzir as condições de serviço feitas a campo, ou seja, sem critério.

Para soldagem da chapa foram utilizados eletrodos E6013, o qual contém alto teor de dióxido de titânio (rutílo- TiO_2) em seu revestimento. Ele é projetado para ter um arco de baixa penetração e cordão de solda plano. É fabricado em aço carbono (0,07%) com revestimento rutílico que é composto de certa quantidade de potássio para estabilizar o arco na soldagem com corrente alternada. Também contém a presença dos elementos de liga Mn (0,35%) e Si (0,20%). Devido sua baixa penetração é recomendado para soldagens de chapas finas e metais de pequena espessura (FORTES, 2005).

De acordo com Sociedade Americana de Soldagem (AWS, 1991), o E6013 apresenta resistência a tração entre 480 a 520 MPa. Devido ao seu revestimento rutílico, não provoca mordeduras no metal base, apresenta fácil ignição, sem perdas por salpicos. Indicado para a soldagem de caldeiras em geral, tubulações, chapas galvanizadas, equipamentos agrícolas e juntas mal preparadas.

A chapa, após soldagem, materiais foi adequada conforme os tipos de ensaios realizados. Para ensaio de tração, 12 tiras foram cortadas a frio em uma prensa newton tipo guilhotina de tal forma que o cordão ficasse na direção perpendicular ao eixo longitudinal da ação do esforço de tração. As dimensões das tiras foram $(5 \times 21 \times 250) \text{ mm}^3$, soldadas ao meio, conforme figura 2 a seguir. O ensaio foi conduzido em uma máquina de ensaios universal modelo EMIC DL-1000 ajustada para a velocidade de 10 mm/min com célula de carga com capacidade de 100 kN.

FIGURA 2. Corpos de prova preparados para ensaio de tração. Fonte: Autores.

Além disso, foram feitos 6 corpos de prova em forma de pastilha (5x15x27) mm³, veja na figura 3, soldados ao meio para ensaio de dureza.

FIGURA 3. Corpos de prova após ensaio de dureza HRC, A) tratado e B) não tratado termicamente. Fonte: Autores.

Adotou-se o ensaio Rockwell (HR) na escala C, cujo equipamento foi um durômetro analógico de bancada, através deste produziu as penetrações em vários pontos (MB, ZTA, ZF) dessas juntas soldadas com um cone de diamante 120°, os pontos de indentação foram aplicados distantes um dos outros em aproximadamente 1 mm, ao todo foram 10 (dez) indentações ao longo das juntas. Inicialmente com uma pré-carga de 10 kgf e, posteriormente, uma segunda carga de 150 kgf.

Foram selecionados 4 corpos de prova em forma de tiras e 3 tipo pastilhas para receberem tratamento térmico alívio de tensões (TTAT). O ciclo de aquecimento e resfriamento em metais em condições controladas de tempo de permanência, temperatura e taxa de resfriamento com a finalidade de melhorar as propriedades do material ou conferir-lhe características pré-determinadas sem mudar a forma do produto é chamado de tratamento térmico.

O metal situado mais perto da solda está sujeito a temperaturas elevadas e ao se distanciar da região de solda, esta temperatura máxima cai. Em razão deste aquecimento heterogêneo, ocorrem contração e expansão desuniformes nas regiões adjacente que podem originar distorções e tensões internas no metal de solda, podendo causar trincas e ou falha prematura da peça (FORTES, 2005).

Diante disso, após a conclusão da solda e seu resfriamento, aplicou-se aquecimento uniforme da estrutura do metal para minimizar essas tensões ou aliviá-las, o qual constitui um tratamento térmico chamado de alívio de tensões (TTAT). O aquecimento dos corpos de prova seu dei a uma taxa de 5°C/min até atingir o patamar de 600 °C em forno tipo mufla, mantendo-os nessa temperatura por uma hora com resfriamento lento no forno até a temperatura ambiente conforme esquema da figura 4.

FIGURA 4. Tratamento térmico - ciclo de alívio de alívio de tensões. Fonte: Autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de dureza medidos ao longo das juntas soldadas estão representados nas figuras 5 e 6. Os pontos de indentação foram aplicados distantes um dos outros em aproximadamente 1mm no intuito de se construir um perfil de dureza com maior número de pontos possíveis sem interferência nos valores de dureza medidos.

FIGURA 5. Perfil de Dureza HRC da junta solda sem TTAT. Fonte: Autores.

FIGURA 6. Perfil de Dureza HRC da junta solda com TTAT. Fonte: Autores.

A junta sem tratamento térmico, comparada com a tratada apresenta características físico-mecânicas desuniforme, com comportamento inverso à distância do centro do cordão, considerando que quanto menor essa distância, maior deveria ser o valor de dureza. A junta de solda tratada obteve diminuição em seus valores de dureza no metal base (MB) e zona termicamente afetada (ZTA), por outro lado o cordão de solda teve pequeno aumento na dureza. Esses valores demonstram uma tendência à uniformização dos valores de dureza da junta tratada, o que pode estar associado ao um incremento na tenacidade dessa junta.

A Tabela 4 apresenta os valores de resistência a tração no escoamento e na ruptura antes e após o TTAT.

TABELA 4. Valores médios de resistência mecânica sob tração e deformação na ruptura dos corpos de prova.

Tipo de Corpo de Prova	Resistência mecânica (MPa)		Alongamento (%)
	Escoamento	Ruptura	
Juntas sem TTAT	181,8	208,5	0,49
Juntas com TTAT	221,6	241,7	0,48

Fonte: Autores.

Os valores médios de resistência a tração das juntas ensaiadas após o TTAT apresentaram incremento no limite de escoamento de 22 % e na tensão de ruptura de 15,9% quando comparados com a junta sem tratamento térmico. Entretanto, não foram observados ganhos na ductilidade após o tratamento térmico realizado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi proposta uma comparação mecânica entre soldas realizadas com eletrodo E6013, inadequados para o metal base em aço ARBL, porém muito utilizado para este fim em soldagens a campo. Com o objetivo de se verificar as consequências de um tratamento térmico pós-soldagem foi realizado um tratamento térmico de alívio de tensões. Conclui-se que os perfis de dureza das juntas tratadas se uniformizaram, ou seja, não variaram significativamente entre si. Por fim, verificou-se que as juntas tratadas também apresentaram melhoras quanto à sua resistência mecânica à tração.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS. Welding Handbook – Welding Processes. 8. ed., Miami: USA. American Welding Society, v. 2, p.955, 1991.

CSN. Laminados a Quente (Catálogo). Disponível em:<http://www.csn.com.br/irj/go/km/docs/csn_documentos/CSN/CATALOGO%20LQ.pdf>. Acesso em: 10 Jun. 2019.

FORTES, C. ESAB: Metalurgia da soldagem, 2005. Disponível em:<<http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/apostilametalurgiasoldagem.pdf>>Acesso em: 12 Jun. 2019.

MODENESI, P. J. Introdução à Metalurgia da Soldagem. Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Belo Horizonte, 2006.

RULKOWSKI, E. S.; ALÉ, R. M.; PINTO, J. A. Q.. Estudo do desempenho de juntas soldadas de aços estruturais frente a diferentes condições ambientais. Congresso Latino Americano de soldagem, p. 387-402, 1992.