

ANÁLISE DAS TENSÕES SUPERIORES AO RECOMENDADO EM UMA CHAPA DE AÇO 1020, SOLDADA PELO PROCESSO DE ELETRODO REVESTIDO: USO DE DIFERENTES FORMAS DE TECIMENTO COMO FORMA DE RESTABELECER AS SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS INICIAIS

Analysis of Stresses Higher than Recommended in a 1020 Steel Sheet, Welded by the Coated Electrode Process: Use of Different Forms of Fabric as a Way of Restoring its Initial Mechanical Properties

Guilherme Henrique Ferreira Santana ^{1*}, Eduardo Miguel da Silva ¹ e Alex Sander Chaves da Silva ¹

¹ Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) - DEMEC - Centro, São João del Rei

*Autor correspondente: gui97h@hotmail.com

RESUMO

O processo de soldagem é amplamente utilizado na indústria para unir metais e também para depositar material em superfícies, seja para recuperação ou para criar revestimentos especiais. Um método comum é a soldagem por eletrodo revestido, onde um arco é gerado entre o eletrodo revestido e a peça a ser soldada. Nesse estudo foi feita a análise do índice de convexidade de três tipos distintos de tecimento em comparação a uma soldagem sem tecimento usando polaridade inversa no processo em chapas de Aço 1020 com 110mm de comprimento por 3mm de espessura. Para tal análise foi utilizado o projetor de perfil do laboratório de fabricação da Universidade Federal de São João del Rei onde foram obtidas as medidas de Reforço e Largura da solda em 3 locais distintos do cordão para que o mesmo ficasse bem representado nos resultados. Por fim, foi obtido o índice de convexidade médio como resultado do trabalho, entretanto as amostras não chegaram ao mínimo ideal do índice de convexidade que é de 30%.

Palavras-chave: Soldagem; Eletrodo Revestido; Tecimento

ABSTRACT

The welding process is widely used in industry to join metals and also to deposit material on surfaces, either for recovery or to create special coatings. A common method is coated electrode welding, where an arc is generated between the coated electrode and the part to be welded. In this study, the convexity index of three different types of weaving was analyzed in comparison to welding without weaving using reverse polarity in the process on 1020 Steel sheets measuring 110mm long and 3mm thick. For this analysis, the profile projector from the manufacturing laboratory at the Federal University of São João del Rei was used, where the Reinforcement and Weld Width measurements were obtained in 3 different locations on the bead so that it was well represented in the results. Finally, the average convexity index was obtained as a result of the work, however the samples did not reach the ideal minimum convexity index, which is 30%.

Keywords: Coated Electrode; Weaving.

1. Introdução

Um dos processos de fabricação mais utilizado industrialmente é a soldagem, esta tem como intuito unir dois ou mais elementos para a fabricação de uma peça qualquer, porém não é limitada somente a esta função. A soldagem também pode ser utilizada para a deposição de material sobre a superfície de uma peça, com o objetivo de recuperá-la caso a mesma tenha sofrido desgaste, ou para a formação de um revestimento com características especiais. Este processo de fabricação pode ser aplicado desde a indústria microeletrônica até em estruturas de grande porte (BRACARENSE, MARQUES, & MODENESI, 2011).

Os métodos de união dos metais podem ser categorizados em duas principais categorias, primeiramente, aqueles que se baseiam na atuação de forças macroscópicas entre as partes a serem unidas, como parafusagem e rebiteagem, onde a resistência da junta é determinada pela resistência ao cisalhamento do elemento de fixação, além das forças de atrito entre as superfícies em contato. Em segundo lugar, aqueles que se baseiam em forças microscópicas - interatômicas e intermoleculares - como soldagem, brasagem e colagem, onde a união é alcançada pela aproximação dos átomos ou moléculas das peças a serem unidas, ou entre essas e um material intermediário adicionado à junta, até que as distâncias sejam pequenas o suficiente para a formação de ligações químicas, especialmente ligações metálicas e de Van der Waals (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

O processo de soldagem por eletrodo revestido é realizado por meio de um arco que aquece e funde a região que fará a união dos metais. Este arco é formado pelo contato rápido entre o eletrodo revestido e a peça. No interior do eletrodo revestido há um núcleo de metal, denominado “alma”, e é revestido por camadas minerais e/ou outros tipos de materiais. Enquanto a alma do eletrodo transporta a corrente elétrica e serve como metal de adição, o revestimento produz escória e gases que protegem a região que está sendo soldada da atmosfera e também estabilizam o arco. Cada revestimento do eletrodo fornecerá propriedades específicas ao processo e à peça, devendo-se ser escolhido o eletrodo que melhor se adapta ao processo e a qualidade requerida da peça final (MODENESI & MARQUES, 2000).

Durante o processo de soldagem há a ocorrência de expansões térmicas nas regiões

aquecidas, onde parte delas são restringidas pelas regiões frias e, portanto, gera-se campos de tensões. Estas tensões são conhecidas como tensões internas, as quais permanecem mesmo após a finalização do processo de soldagem, apresentando-se sob a forma de empenamento e distorções no material soldado (OKUMURA & TANIGUCHI, 1982).

Uma corrente fora da faixa ideal para o processo de soldagem, afeta de forma direta a integridade do cordão de solda. Portanto, ela é diretamente proporcional à penetração da solda e a taxa de deposição, podendo causar defeitos na junta da peça, além de tensões indesejadas (GURGEL, 2015).

Este trabalho tem como finalidade verificar a influência de diferentes tipos de tecimento em uma peça soldada por meio da relação entre o reforço da solda e da sua largura comparando a sua relação entre os diferentes tipos de tecimento.

2. Metodologia

2.1. Chapas de Aço 1020

As chapas de aço SAE 1020 são materiais metálicos amplamente utilizados na indústria devido à sua versatilidade, boa soldabilidade e custo acessível. Elas são feitas de aço-carbono com uma composição química específica, conforme padronizado pelo Society of Automotive Engineers (SAE). Essas chapas são frequentemente empregadas em diversas aplicações, incluindo estruturas de construção, componentes mecânicos e fabricação de peças industriais. Para soldagem, é importante considerar as propriedades mecânicas e químicas das chapas de aço SAE 1020, bem como suas características de processamento durante o planejamento e execução do processo de soldagem.



Figura 1. Chapas de aço 1020 antes do processo de soldagem. Fonte: Autor

2.2. Processo de Soldagem

2.2.1. Preparação do Equipamento e do Ambiente

Antes de iniciar a soldagem, é essencial garantir que todos os equipamentos de proteção adequados estejam disponíveis e em uso, incluindo máscara de solda, luvas de proteção, avental e botas de segurança. Além disso, é importante verificar se a área de trabalho está limpa e bem ventilada para evitar a inalação de fumos e gases resultantes do processo de soldagem.

2.2.2. Preparação da Peça

Uma vez que o ambiente esteja seguro, é necessário preparar a peça que será soldada. Isso envolve limpar cuidadosamente a superfície da peça para remover qualquer sujeira, graxa, óleo ou revestimentos antigos que possam interferir na qualidade da solda. Em seguida, é importante selecionar o tipo de eletrodo revestido adequado para o material da peça e para o tipo de soldagem desejada, além de definir o diâmetro do eletrodo de acordo com a espessura da peça e com a corrente de soldagem utilizada.

Vale destacar que alguns fatores como o armazenamento do eletrodo influencia nas condições finais do cordão soldado, eletrodos armazenados de forma incorreta podem apresentar umidade o que acarreta em deformidades no resultado final influenciando a qualidade e a resistência do cordão de solda obtido.

Com a peça devidamente preparada e o eletrodo escolhido, pode-se configurar a máquina de solda ajustando os parâmetros como corrente elétrica, polaridade e velocidade de alimentação do eletrodo conforme as recomendações do fabricante do eletrodo e do material da peça. Assim que tudo estiver pronto, o processo de soldagem pode ser iniciado, garantindo um posicionamento correto do eletrodo, manutenção do arco estável e movimento adequado ao longo da junta de solda para criar um cordão uniforme e com boa penetração. Após a conclusão da soldagem, é importante realizar uma inspeção visual do cordão de solda em busca de defeitos.

2.2.3. Parâmetros Utilizados

Antes de iniciar o processo é importante definir todos os parâmetros envolvidos no processo de soldagem. Na tabela 1 estão relacionados os parâmetros

envolvidos na execução da solda.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem

Parâmetros de soldagem	
Polaridade	Inversa
Amperagem	90A
Diâmetro eletrodo	3,15
Espessura da peça	3mm
Comprimento da peça	110mm

Na Tabela 2 estão representados os números das chapas e quais os tecimentos utilizados em cada uma.

Tabela 2. Número da chapa soldada e qual o tipo de tecimento usado. Fonte: Autor

Número da Amostra	Tipo de Tecimento
0	Triangular
1	Triangular
2	Triangular
3	Duplo 8
4	Duplo 8
5	Duplo 8
6	Espiral
7	Espiral
8	Espiral
9	Sem tecimento

2.2.4. Ponteamento das Amostras

As amostras foram ponteadas nas duas extremidades para facilitar o processo de soldagem.



Figura 2. Chapas de aço 1020 antes do processo de soldagem após o ponteamento em ambas as extremidades. Fonte: Autor

2.2.5. Soldagem das Amostras

As amostras foram soldadas seguindo os parâmetros citados acima, a operação foi feita respeitando todas as normas de segurança. Para cada amostra foi usado um eletrodo para evitar influências no processo. As chapas soldadas tiveram sua escória batida logo após o processo e resfriaram ao ar livre para logo após serem armazenadas envoltas em papel para evitar que sofressem da ação oxidante da atmosfera.

2.2.6. Corte das Amostras

As chapas já soldadas foram cortadas em seções de 25 mm cada, sendo retirada de cada placa soldada três amostras distintas que seriam levadas ao projetor de perfil para aferição dos parâmetros estudados. Na figura (3) está representada a serra usada para o corte das amostras.



Figura 3. Serra usada para corte das amostras
Fonte:Autor

2.2.7. Análise das Amostras no Projetor de Perfil

Após o processo de corte das peças, as amostras foram levadas ao laboratório de metrologia da faculdade onde se encontrava o projetor de perfil. As amostras foram fixadas em massinha de modelar para facilitar sua colocação no aparelho de análise. Ao ligar o projetor de perfil foi utilizada tanto a luz de superfície quanto a luz de contorno para que a peça ficasse bem definida no visor do projetor, como está representado na figura (4). Visando o melhor foco da peça, o equipamento permite ajuste de posicionamento nos eixos X, Y e Z, além de ter um controle separado para o foco. Para cada cordão de solda foram feitas 3 amostras

buscando uma melhor representação do comportamento da soldagem ao longo da chapa analisada e com base no tecimento utilizado. Para cada amostra foi feita a medida da largura e do reforço dos cordões para posteriormente ser calculado o índice de convexidade.

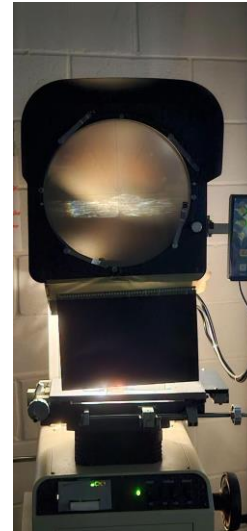


Figura 4. Projetor de perfil usado para medição do reforço e da largura da solda. Fonte:Autor

2.2.8. Análise Estatísticas das Amostras

Para que haja uma boa representação das peças soldadas e seus respectivos tecimentos foram feitas três amostras de cada cordão de solda buscando uma boa caracterização do cordão com um todo. Após a coleta dos dados será feita a média das amostras obtidas em cada cordão de solda e com isso o cálculo do índice de convexidade. Para o cálculo da média foi usado o site google sheets que tem seu acesso feito de forma gratuita.

2.2.9. Índice de Convexidade

As características de qualidade foram avaliadas seguindo como critério o índice de convexidade (IC), uma vez que trabalha-se diretamente com o formato geométrico ideal para a sobreposição dos cordões de solda para revestimentos metálicos. As amostras obtidas, após corte transversal, foram analisadas utilizando projetor de perfil. O índice de convexidade (IC) foi calculado da forma como indicou Paiva, (PAIVA, et. al., 2010) com as medidas da altura do reforço (R) e da largura do cordão (L) utilizando a seguinte equação: Índice de convexidade:

$$IC = \frac{R}{L} \times 100\%$$

(1.0) Onde L é a largura e R é a altura do reforço do cordão.

3. Resultados

O índice de convexidade do cordão está associado ao movimento do eletrodo e ao comprimento do arco. Esse valor tem um impacto significativo nas propriedades mecânicas e na aparência visual do cordão de solda, evitando reforço excessivo. Como critério de aceitação, recomenda-se que a convexidade do cordão esteja na faixa de 20 a 30%. Para obter-se o índice de convexidade do experimento foram usados os dados representados na tabela (3)

Para uma melhor representação dos cordões de solda analisados foi realizado o cálculo das médias dos valores de R e L obtidos em cada cordão. Na tabela (4) está representado o resultado dos cálculos.

Com o uso do tecimento no geral houve um aumento na largura do cordão nas soldas obtidas no laboratório proporcionando uma melhor distribuição de material sobre a peça. Houve também uma redução nos valores do reforço para os tecimentos triangular e duplo 8 em comparação com a amostra sem tecimento. Em contrapartida houve um aumento no valor do reforço R ao se utilizar o tecimento Espiral durante a solda.

Gomes (2010), estudando os efeitos da diluição em função dos parâmetros de soldagem afirma que menores níveis de diluição foram observados para baixas tensões, baixas velocidades de soldagem e altas distâncias eletrodo e peça. A velocidade de alimentação se mostrou como um parâmetro pouco significativo para esta resposta. O pesquisador ainda observou que em condições de baixas tensões e baixas velocidades de soldagem, a penetração é baixa e o reforço é alto. Logo, a área de reforço aumenta e a área de penetração diminui, resultando em baixos percentuais de diluição. O mesmo raciocínio é válido para a distância eletrodo. Em condições de maiores distâncias, foram observadas baixas penetrações e altos reforços, levando à diminuição da diluição.

Por fim, foi feito o cálculo do índice de convexidade médio para cada cordão de solda com base nos valores médios do reforço e da largura da solda. Na tabela (5) estão representados os valores encontrados.

Com base na análise dos resultados temos o tecimento espiral com o maior índice de convexidade visto que os maiores valores de reforço foram obtidos

utilizando tal tecimento. Dado o movimento do eletrodo há um aumento da quantidade de material depositada e consequentemente o aumento do reforço do cordão de solda. Em contrapartida no tecimento triangular foram obtidos os menores valores do reforço e com isso em geral os menores valores no índice de convexidade.

Tabela 3. Valores de R e L obtidos durante os experimentos. Fonte autor

Resultado da coleta de amostras			
Chapa 0	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	0,807 mm	0,771 mm	0,684 mm
L	7,813 mm	7,747 mm	9,031 mm
Chapa 1	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	0,756 mm	0,709 mm	0,684 mm
L	8,835 mm	9,02 mm	9,031 mm
Chapa 2	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	1,147 mm	1,082 mm	1,049 mm
L	7,61 mm	7,65 mm	7,51 mm
Chapa 3	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	0,928 mm	0,867 mm	0,9 mm
L	8,741 mm	8,709 mm	8,720 mm
Chapa 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	0,875 mm	0,869 mm	0,874 mm
L	7,958 mm	6,55 mm	6,414 mm
Chapa 5	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	0,967 mm	0,849 mm	0,939 mm
L	7,801 mm	8,544 mm	8,551 mm
Chapa 6	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	1,362 mm	1,462 mm	1,423 mm
L	7,958 mm	7,858 mm	7,923 mm
Chapa 7	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	1,48 mm	1,289 mm	1,186 mm
L	8,27 mm	9,283 mm	8,978 mm
Chapa 8	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	1,284 mm	1,305 mm	1,236 mm
L	5,59 mm	5,623 mm	5,574 mm
Chapa 9	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
R	1,135 mm	1,154 mm	1,149 mm
L	6,917 mm	6,517 mm	6,963 mm

Tabela 4. Valores médios de R e L obtidos durante as medições. Fonte: Autor

Número da Amostra	Tipo de Tecimento	R(média em mm)	L(média em mm)
Amostra 0	Triangular	0,75	8,197
Amostra 1	Triangular	0,716	8,962
Amostra 2	Triangular	1,093	7,59
Amostra 3	Duplo 8	0,898	8,723
Amostra 4	Duplo 8	0,873	6,974
Amostra 5	Duplo 8	0,918	8,299
Amostra 6	Espiral	1,416	7,913
Amostra 7	Espiral	1,318	8,844
Amostra 8	Espiral	1,275	5,596
Amostra 9	Sem Tecimento	1,146	6,799

Tabela 5. Índice de convexidade médio das amostras. Fonte: Autor

Número da Amostra	Índice de convexidade	Tipo de Tecimento
Amostra 0	9,198	Triangular
Amostra 1	7,993	Triangular
Amostra 2	14,396	Triangular
Amostra 3	10,298	Duplo 8
Amostra 4	12,513	Duplo 8
Amostra 5	11,066	Duplo 8
Amostra 6	17,890	Espiral
Amostra 7	14,907	Espiral
Amostra 8	22,785	Espiral
Amostra 9	16,855	Sem Tecimento

A oscilação do eletrodo impacta na formação e quantidade de trincas durante o processo de solidificação e resfriamento do revestimento. A soldagem sem tecimento tende a resultar em mais trincas em comparação com os processos que utilizam essa técnica. O uso de técnicas de tecimento leva a variações geométricas, aumentando a largura do cordão de solda e reduzindo a altura do reforço.

4. Conclusões

Com base nas análises feitas temos que os maiores índices de convexidade foram encontrados nas

amostras com tecimento em espiral, tais amostras tiveram os maiores valores de Reforço R entre os tecimentos analisados além disso a amostra 8 feita com o tecimento espiral foi a que chegou mais próximo do valor ideal de convexidade que gira na casa de 30%. Em contrapartida as amostras que utilizaram o tecimento triangular tiveram os valores mais distantes ao ideal do índice de tecimento e um baixo valor de Reforço R.

No geral, as amostras ficaram abaixo do índice de convexidade recomendado, o que para aplicações comerciais pode trazer malefícios à peça final. É de suma importância que durante a soldagem industrial teoria e prática caminhem junto para que a qualidade final das peças seja maximizada.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico(Cnpq).

5. Agradecimentos

Agradeço ao financiamento do Cnpq a presente pesquisa, ao professor Alex Sander pela orientação ao longo do ano de trabalho, também gostaria de agradecer ao professor Eduardo por ter ajudado durante as medições feitas no projetor de perfil.

Referências

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR METAL HANDBOOK. Properties and selection: irons steels and high performance alloys. 10ª ed. USA: ASM International, 1990.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR METAL HANDBOOK. Welding Fundamental and Process. Vol 06A. USA: ASM International, 2011. 981p.
- [3] BRACARENSE, A. Q.; MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J. Soldagem: Fundamentos e Tecnologias. 3ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.
- [4] CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- [5] CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento. 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- [6] DE ABREU JUNIOR, L. S.; PIMENTEL, L. S. Análise experimental do comportamento do polipropileno em ensaio de tração uniaxial. 2016. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.
- [7] GERE, J. M. Mecânica dos Materiais. 5ª ed. São Paulo: Thomson, 2003.
- [8] GOMES, José Henrique de Freitas. Análise e otimização da

- soldagem de revestimento de chapas de aço abnt 1020 com utilização de arame tubular inoxidável austenítico. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.
- [9] GURGEL, R. D. (2015). Estudo comparativo entre os processos de soldagem com eletrodo revestido e arame tubular aplicados na soldagem de aço-carbono ASTM-A36. 2015. 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Fundação Edson Queiroz, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2015.
- [10] LIPPOLD, JOHN C. Welding Metallurgy and Weldability. 1ª ed. New Jersey: Wiley, 2015. 400p.
- [11] MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. Soldagem: fundamentos e tecnologia. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 362 p.
- [12] MENDES, Rafael Bezerra Azevedo. Efeito do tectimento triangular e trapezoidal sobre revestimentos aplicado com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste abrasivo. 2018. 121 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (Ppgem), UFRN, Natal, 2018.
- [13] MODENESI, P. J.; MARQUES, P. Soldagem I: Introdução aos Processos de Soldagem. Belo Horizonte: UFMG, 2000.
- [14] OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. Engenharia de Soldagens e Aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 1982.
- [15] PAIVA, et al. (Jan/Mar de 2010). "Otimização do Processo de Soldagem FCAW Usando o Erro Quadrático Multivariado". Soldagem & Inspeção, 15(1), 31-40.
- [16] PHILLIPS, DAVID H. Welding Engineering: an introduction. 1ª ed. Chichester, UK: Wiley, 2016. 275p.
- [17] SCIPIONI, R. (2019). Influência da corrente elétrica e recozimento em juntas soldadas por eletrodo revestido de aço 316L. 2019. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2019.
- [18] SILVA CC, MIRANDA EC, MOTTA MF, MIRANDA HC, FARIAS JP. "Minimização de defeitos em revestimentos de superligas de níquel depositada pelo Processo TIG com alimentação de arame frio". Soldagem e Inspeção. 2014;19(4):323-332.
- [19] SILVA JUNIOR, G. Estudo da Influência do Processo ECAP (Equal Channel Angular Pressing) nas Propriedades Mecânicas e Características Microestruturais do Aço SAE 1020. 2017. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.
- [20] SIQUEIRA, J. F. Análise e comparação dos revestimentos para utilização em facas picadoras de cana-de-açúcar depositados pelos processos de aspersão térmica e eletrodo revestido. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, 2018.
- [21] TAVARES, S. S. Soldagem por fricção convencional entre a liga de Alumínio 6351-T6 e o Aço SAE 1020 assistida por indução eletromagnética. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- [22] WAINER, E.; BRANDI, S. D.; HOMEM DE MELLO, F. D. Soldagem: processos e metalurgia. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 1992. 494p.