

ESTUDO COMPARATIVO DA UNIÃO DE METAIS ATRAVÉS DA SOLDAGEM POR FRICÇÃO UTILIZANDO O TORNO MECÂNICO

Ramsés Otto Cunha Lima

Yago Leite Lima

Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, Mossoró RN.

ramses.cunhalima@ufersa.edu.br

yagoleitelima@gmail.com

Resumo. A soldagem por fricção se processa no estado sólido, na qual as peças são submetidas a rotações e força axial para a união da junta por tempo determinado. Este processo vem ganhando destaque, uma vez que possibilita a produção de juntas soldadas de alta qualidade entre materiais similares e dissimilares. Nesse trabalho foi realizada a aplicação da soldagem por fricção em juntas de corpos de prova de aço SAE 1020 com aço SAE 1020 e com aço inoxidável A304, utilizando um torno mecânico. Em seguida foi realizado ensaio de tração, para analisar as propriedades mecânicas da junta soldada, e metalografia para analisar a união entre os materiais soldados. Observou-se, para as juntas de materiais similares, uma união com interface de separação discreta pela difusão promovida e, nos materiais dissimilares, uma união com interface de separação, com algumas inclusões.

Palavras chave: Soldagem por fricção; Propriedades Mecânicas; Torno Mecânico; Metalografia.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem aplicados tanto na fabricação de peças quanto no reparo de equipamentos e estruturas em operação movimentam milhões de dólares ao ano na qual busca-se processos que reduzam os custos de manufatura e inspeção, que apresentem alta repetibilidade e baixo índice de rejeição. Desta maneira, consegue-se manter a linha em operação e estender a vida útil do equipamento. Por consequência, pesquisas sobre novas técnicas e/ou métodos são conduzidas para dar resposta às demandas da indústria (LÓPEZ, 2010).

Neste sentido, a soldagem por fricção se apresenta como um processo versátil e bem estabelecido (MESHRAM *et al.* 2007) sendo capaz de proporcionar soldas de boa qualidade. Este processo de soldagem que ocorre no estado sólido, no qual a junção das peças metálicas (ou outros materiais) ocorre através de aquecimento gerado no atrito entre duas peças. Neste processo, a energia térmica é produzida pela interconversão da energia mecânica em energia térmica nas interfaces dos componentes em atrito (SAHIN *et al.*, 2007). Assim, a soldagem por fricção é produzida em temperaturas inferiores ao ponto de fusão dos metais base com uma velocidade relativa, uma carga (normal ao plano de soldagem) é aplicada para deslocar plasticamente e juntar os materiais (HANDA; CHAWLA, 2013).

É importante conhecer as variáveis que estão envolvidas no processo de soldagem por fricção. As mesmas são o tempo, a pressão e a rotação. Sobre o tempo, vale salientar, segundo Silva e Gimenes Júnior (2002), que quando se trabalha com o tempo de atrito muito curto há maior facilidade de inclusão de óxidos e poros. Já quando o tempo se torna longo, há maior possibilidade de excesso de fusão de material a qual pode ocorrer pontos de fase líquida. Em se tratando da pressão, Padilha (2010), entende que a mesma no aquecimento e soldagem dependem do material a ser soldado e normalmente estão entre as faixas de 30 a 60MPa e 80 a 155MPa. Sobre a rotação a velocidade utilizada normalmente é de 600rpm.

Há dois principais requisitos para uma boa solda por fricção são: primeiro os materiais a serem unidos possam sem forjados, e segundo, os materiais gerem fricção na interface da solda (LOPEZ, 2010). O primeiro requisito elimina soldas de materiais similares em materiais frágeis como cerâmica e ferro fundido, mas em alguns casos, é possível soldar materiais similares. O segundo elimina ou dificulta a solda de materiais que contém elementos de liga para lubrificação a seco, como grafite e ligas de chumbo.

As facilidades de realizar uma solda por fricção em matérias similares, estão associados pelo fato, de apresentar as mesmas propriedades, assim o calor se distribuirá uniformemente e as características de deformação são idênticas em ambos os lados da interface. Assim, normalmente essas juntas soldadas apresentam boa qualidade, como pode ser observado nos trabalhos de Handa e Chawla (2013a) e Handa e Chawla (2013b). Em geral as variáveis do processo não mudam significativamente para diferentes ligas dentro do mesmo tipo de material. O aquecimento localizado na solda por fricção, a zona afetada pelo calor (ZAC) está sujeita a resfriamento rápido pela efetiva transferência de calor para a material base. Essa têmpera pode alterar significativamente as propriedades mecânicas, assim em alguns casos a realizações de tratamentos térmicos de pós-solda (ELMER, KAUTZ, 1994).

Decorrente de questões econômicas são utilizados materiais dissimilares no processo de soldas por fricção. Porém, devido aos seus pontos de fusão serem diferentes, irão formar fases incompatíveis quando soldadas. De acordo com Elmer e Kautz (1994), Aços de baixo Carbono com aço de médio carbono, em geral, são unidas para uma ampla gama de condições, inclusive aços de alto teor de carbono são soldados com aços ligados usando solda por fricção. Porém, dependendo dos materiais aplicados, podem ocorrer problemas envolvidos na união de materiais dissimilares por fricção são como: interface de união, fase de baixo ponto de fusão, fases frágeis e diferença de expansão térmica, conforme pode ser observado por Handa e Chawla (2014) e Muralimohan *et al.* (2014). As soldas podem ser afetadas por impurezas (enxofre e fósforo em ligas ferrosas, bismuto em ligas de cobre) na interface da solda (ELMER, KAUTZ, 1994). Essas impurezas podem causar problemas com fragilização a quente mesmo em baixa concentração, portando a limpeza deve ser incluída no procedimento de preparação dos componentes a serem soldados.

Nesse trabalho foi realizada uma análise comparativa entre soldagem por fricção, em materiais similares e dissimilares, mantendo parâmetro pré-determinado, pode-se analisando sua microestrutura e região soldada, com auxílio do método da metalografia, e sua resistência atrativa com o ensaio de tração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, é detalhada a metodologia empregada na preparação das amostras, bem como na realização dos ensaios de soldagem por fricção e caracterização das juntas soldadas.

2.1. Preparação dos corpos de prova

Para realizar os testes de soldagem por fricção foram utilizados os seguintes materiais, aço SAE 1020 e aço inox 304. Os pares de corpos de prova a serem soldados foram usinados utilizando o torno CNC, fabricante Romi, modelo Centur 30D, com diâmetro de 10mm e comprimento de 65mm.

2.2. Procedimento de soldagem

O procedimento experimental para os testes de soldagem por fricção dos corpos de prova foi realizado em um torno mecânico convencional do fabricante Nardini, modelo Nodus 220. As condições respeitadas na realização dos ensaios são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições adotadas nos ensaios de soldagem por fricção.

Corpo de prova (Juntas)	Quantidade	Tempo de soldagem (s)	Rotação (rpm)
SAE 1020 + SAE 1020	5	30	1500
SAE 1020 + AISI A304	5	30	1500

Durante os ensaios, um dos corpos de prova da junta de soldagem era fixado na placa de castanhas do torno, enquanto o outro era fixado no cabeçote móvel através de uma mandril. Com a rotação estabelecida na máquina, o cabeçote móvel era aproximado da placa de castanhas até que as duas superfícies da junta a ser soldada entrassem em contato. O contato estabelecido era mantido até que o atrito gerado pelo movimento relativo entre as duas peças gerasse aquecimento suficiente para promover uma fusão localizada (caracterizada por coloração avermelhada dos contatos) na junta e as superfícies de contato comesçassem a sofrer deformação plástica. Neste momento o freio do torno era acionado de maneira a parar a rotação do eixo e a aproximação das duas peças que compõe a junta de soldagem era forçada através da movimentação do cabeçote móvel do torno. Esta pressão era mantida até que a coloração da junta voltasse ao normal, então o sistema permanecia em repouso até que a junta resfriasse para ser removida da máquina.

2.3. Ensaios de caracterização

Após da realização dos ensaios de soldagem por fricção, foi retirada uma amostra de cada junta para a realização do ensaio metalográfico. Para tanto, primeiramente foi realizado corte na seção transversal das juntas, utilizando a máquina serra fita de bancada, fabricante Starret, conforme mostra a Figura 1a. Para a realização da metalografia as amostras cortadas das juntas soldadas foram embutidas a frio com resina acrílica em molde de silicone, a Figura 1b



Figura 1 – a) Juntas soldadas seccionadas; b) Amostra embutida para ensaio metalográfico.

Com as amostras já embutidas, o processo de lixamento foi realizado utilizando-se lixas de granulometria, 180, 220, 320, 400, 500, 600, 800, 1000 e 1200, e para a realização do polimento, foi utilizado alumina. Para cada troca de lixa as amostras foram rotacionadas em 90°, inclusive durante o polimento. Quanto ao ataque químico, para as juntas de materiais similares foi utilizada a solução de Nital 2%, para as juntas de materiais dissimilares além da solução de Nital 2%, foi utilizado a solução Gliceregia (15ml de HCl, 10ml de Ácido Nítrico e 10ml de Glicerina). Com as amostras atacadas, foram realizadas as análises de microscopia óptica em um microscópio óptico da marca Olympus, modelo GX-51, acoplado com uma câmera da Olympus, modelo SC30 e software analySIS, com objetivo de observar as microestruturas nas amostras.

As demais juntas soldadas foram submetidas ensaios de tração, segundo a norma NBR ISO 6892 (2002). Os parâmetros para esse ensaio são apresentados na Tabela 2. Foi utilizada a célula de carga de 100 kN para cada ensaio.

Tabela 2 – Parâmetros para ensaio de tração das juntas soldadas.

Corpo de Prova	Quantidade	Comprimento (mm)	Velocidade de Ensaio (mm/min)	Comprimento útil (mm)
SAE 1020 x SAE 1020	4	120	25	55
SAE 1020 x A304	4	120	5	55

É importante salientar que todos corpos de prova foram ensaiados sem a retirada da rebarba gerada durante o processo de soldagem por fricção, com o objetivo de não se danificar ou gerar qualquer concentração de tensão adicional a esta região com um processo de usinagem posterior ao de soldagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados separadamente em relação às análises metalográficas e aos ensaios de tração.

3.1 Ensaios metalográficos

Analisou-se a metalografia do corpo de prova da junta de materiais similares, nas seguintes regiões: metal de base e na zona soldada. A Figura 2a apresenta a região soldada, na qual permite-se observar os contornos de grão característicos do metal de base. Analisou-se, também, a micrografia do corpo de prova da junta de materiais dissimilares, nas seguintes regiões: metal de base e na zona soldada. A Figura 2b a região soldada, na qual permite-se observar os contornos de grão característicos do metal de base, bem como a interface entre os materiais dissimilares.



Figura 2 – Micrografia das regiões soldadas formadas por juntas de a) materiais similares e b) materiais dissimilares.

Na Figura 2a, comparando-se com a região mais próxima da solda, observa-se uma granulação mais refinada na zona afetada pelo calor, e também um crescimento de grão ao longo da região soldada. Apresentou-se uma falta de fusão na região soldada, provavelmente pela falta de força axial no decorrer do processo. Na Figura 2b, na região do metal base de aço SAE 1020, pode-se observar contornos de grão poligonais, os quais são característicos de um aço inox austenítico. Na região soldada da Figura 2b, pode-se observar uma provável difusão dos materiais, e grão em formato de agulha no aço 1020, podendo ser a microestrutura martensita segundo Colpaert (2008)

3.2 Ensaios de tração

Durante os ensaios de tração das juntas formadas por materiais similares (aço SAE 1020 e aço SAE 1020), foi verificado que, das quatro amostras ensaiadas, apenas uma rompeu-se na região soldada, tendo as demais rompido no limite do comprimento útil. Este comportamento comprova a eficiência do processo de soldagem por fricção em unir os dois corpos de prova que compõe a junta. Porém, o fato de a rebarba gerada durante a soldagem não ter sido removida pode ter influenciado no resultado, uma vez que esta promoveu um aumento de diâmetro, dessa forma, a área na região soldada ficou mais ampla, assim, promoveu-se uma tensão maior na região não soldada. A Figura 3a apresenta a curva da tensão normal relacionada com a deformação ocorrido nos ensaios.

Durante os ensaios de tração das juntas formadas por materiais dissimilares (aço SAE 1020 e aço AISI A304), os corpos de prova apresentaram comportamento diferente. Para este caso, todos os corpos de prova romperam na região soldada. Isto provavelmente se deve ao fato de todas as juntas soldadas terem apresentado grande quantidade de inclusões, o que trouxe como consequência, percebeu-se falta de fusão na região da junta soldada. A Figura 3b apresenta a curva da tensão normal relacionada com a deformação ocorrido nos ensaios.

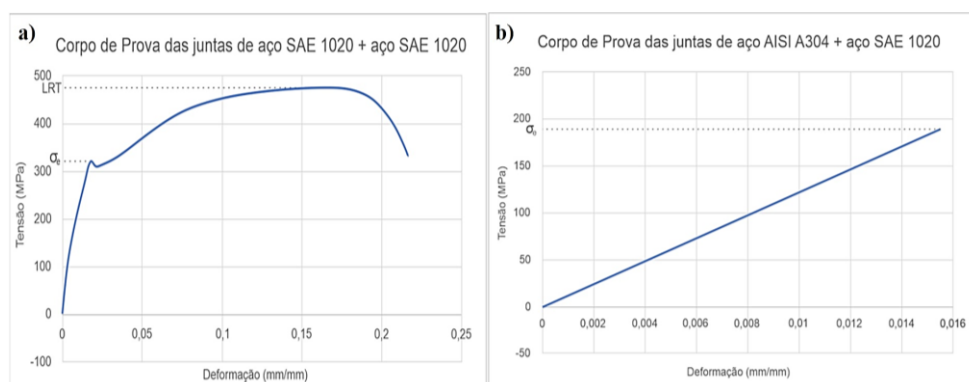


Figura 3 – Curvas tensão x deformação obtidas após os ensaios com corpos de provas das juntas soldadas de a) materiais similares e b) materiais dissimilares

A curva gerada como resultados dos ensaios das juntas de materiais similares (Fig. 3a) apresenta comportamento característico de materiais dúcteis, com os regimes elásticos e plásticos bem definidos. Este comportamento sugere que a junta formada por dois corpos de prova de aço SAE 1020 apresentou uma soldagem efetiva, com continuidade das propriedades do material ao longo da junta. Já a curva gerada como resultados dos ensaios das juntas de materiais dissimilares (Fig. 3b) apresenta uma linha reta, o que permite supor os corpos de prova não atingiram o regime plástico, ou seja, a tensão de escoamento será igual a tensão de ruptura.

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos para as propriedades mecânicas das juntas soldadas, obtidas a partir dos ensaios de tração

Tabela 3 – Propriedades mecânicas das juntas soldadas.

Junta (materiais)	Tensão de escoamento médio (MPa)	Desvio Padrão	Tensão de ruptura média (MPa)	Desvio Padrão
SAE 1020 + SAE 1020	293,75	69,69	443,75	67,50
SAE 1020 + AISI A304	233,50	42,88	233,50	42,88

Em relação às juntas de matérias similares ensaiadas, o limite de escoamento e o limite de resistência a tração do aço SAE 1020 laminado apresentam boa conformidade com Handa e Chawla (2013a) e Handa e Chawla (2013b). Já em relação à junta formada por materiais dissimilares, os valores obtidos apresentaram-se um pouco abaixo, se comparados com Handa e Chawla (2014), porém superiores aos obtidos por Muralimohan *et al.* (2014), permanecendo assim, seguindo a tendência encontrada na literatura consultada.

4. CONCLUSÕES

- Apesar de o torno mecânico não ser o equipamento mais adequado para a execução do processo, foi possível realizar a soldagem por fricção dos materiais testados.
- Foram obtidos valores de resistência da junta soldada próximos aos encontrados na literatura, principalmente para juntas compostas por corpos de prova de materiais similares.
- Na microestrutura referente à junta de materiais similares, o método de soldagem por fricção foi capaz de alcançar altas resistência nos ensaios de tração realizados.
- Na microestrutura referente à junta de materiais dissimilares, foi observada relevante descontinuidade, o que contribuiu para que não fossem alcançados valores tão altos nos ensaios de tração.

5. REFERÊNCIAS

- COLPAERT, H., Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, 4ª. ed. São Paulo, Edgard Blucher, 2008.
- ELMER, J. W.; KAUTZ, D. D. Fundamentals of friction welding. In: ASM Handbook.
- HANDA, Amit; CHAWLA, Vikas. Experimental study of mechanical properties of friction welded AISI 1021 steels. Indian Academy Of Science, India, v. 38, n. 6, p.1407-1419, dez. 2013a.
- HANDA, Amit; CHAWLA, Vikas. Mechanical Characterization of Friction Welded AISI 304 Steels. International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology, India, v. 10, n. 2, p.2818-2821, out. 2013b.
- HANDA, Amit; CHAWLA, Vikas. Investigation of mechanical properties of friction-welded AISI 304 with AISI 1021 dissimilar steels. The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, [s.l.], v. 75, n. 9-12, p.1493-1500, 23 ago. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-014-6238-0>.
- LÓPEZ, Facundo Sebastián. Montagem e avaliação de uma máquina de solda por fricção. 2010. Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-UFRGS. Porto Alegre, 2010.
- MESHRAM, S.d.; MOHANDAS, T.; REDDY, G. Madhusudhan. Friction welding of dissimilar pure metals. Journal Of Materials Processing Technology, [s.l.], v. 184, n. 1-3, p.330-337, abr. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.11.123>.
- MURALIMOHAN, C.H. et al. Evaluation of Microstructures and Mechanical Properties of Dissimilar Materials by Friction Welding. Procedia Materials Science, [s.l.], v. 5, p.1107-1113, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.404>.
- PADILHA, Hélio. Soldagem por fricção. 2010. Disponível em: <<ftp://demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec.../Aula3-Soldagem%20por%20Fricção.pptx>> Acesso: 22 de maio de 2017
- SAHIN, M., AKATA, H.E., GULMEZ, T., (2007), "Characterization of mechanical properties in AISI 1040 parts welded by friction welding", Materials characterization, Vol. 58, pp. 1033-1038.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

COMPARATIVE STUDY OF THE METAL UNION THROUGH FRICTION WELDING USING THE MECHANICAL LATHE

Ramsés Otto Cunha Lima

Yago Leite Lima

Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, Mossoró RN.

ramses.cunhalima@ufersa.edu.br

yagoleitelima@gmail.com

Abstract. Friction welding takes place in the solid state, where the parts are subjected to rotations and axial force for the joining of the joint for a fixed time. This process has been gaining prominence since it enables the production of high quality welded joints between similar and dissimilar materials. In this work the application of friction welding on SAE 1020 steel test bodies with SAE 1020 steel and stainless steel A304 was performed using a lathe. Then, a tensile test was performed to analyze the mechanical properties of the weld joint and metallography to analyze the bond between the welded materials. For joints of similar materials, a connection with discrete diffusion interface has been observed for the diffusion promoted and, in the dissimilar materials, a connection with separation interface, with some inclusions.

Keywords: Friction welding; Mechanical properties; Conventional Lathe; Metallography.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.