



AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM POR ATRITO ROTATIVO HÍBRIDO DE MATERIAL SIMILAR AÇO SAE 1020

Jéssica Curvêlo Nascimento

Nila Cecília de Faria Lopes Medeiros

Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado, km 16, Salobrinho, Ilhéus/BA.
jessicacurvelon@gmail.com; nclmedeiros@gmail.com

Wagner de Campos Sabor

Givanildo Alves dos Santos

Francisco Yastami Nakamoto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rua Pedro Vicente, 625, São Paulo/SP.
wsabor@ifsp.edu.br; givanildo@ifsp.edu.br; nakamoto@ifsp.edu.br

Resumo. *O presente trabalho foi realizado em um equipamento adaptado para a realização do processo de soldagem por atrito rotativo híbrido de material similar aço carbono SAE 1020. Foram determinados os parâmetros do processo de soldagem e a correlação com as propriedades mecânicas mediante a realização de ensaios de tração, dureza e análises metalográficas. Os dados experimentais e micrográficos apresentam um refinamento da estrutura cristalina na região da zona termicamente afetada (ZTA), com uma relativa redução da dureza na ZTA e a formação de ferrita acicular.*

Palavras chave: *zona termicamente afetada, soldagem por atrito rotativo híbrido, soldagem por atrito, análise micrográfica, material similar.*

1. INTRODUÇÃO

A soldagem por atrito se baseia na soldagem por estado sólido, em que o atrito proporcionado por uma fonte mecânica gera o calor necessário para a soldagem do material. A técnica de soldagem por atrito rotativo pode ser classificada em soldagem por arraste contínuo ou convencional e a soldagem inercial (Brandi, *et al.*, 2004). As vantagens citadas por Akata e Sahin (2003), como também Brandi *et al.*, 2004 e Machado (1996) são a elevada economia de material, alta resistência da solda, ausência da necessidade de atmosfera protetora, baixo tempo para execução da soldagem e não se aplica metal de adição ou consumíveis.

No processo de soldagem por arraste contínuo, uma das peças é mantida em rotação enquanto a outra é mantida fixa no equipamento. Os parâmetros descritivos deste método são: tempo de atrito (T_1), pressão de atrito (P_1), tempo de recalque/forjamento (T_2), pressão de recalque/forjamento (P_2) e a velocidade de rotação a qual as peças são submetidas. No início do procedimento a pressão de atrito é aplicada ao mesmo tempo em que as partes iniciam o contato pelo tempo de atrito preestabelecido, ao ponto que o freio do equipamento é acionado interrompendo instantaneamente a rotação do eixo móvel. A pressão de recalque é submetida entre as peças, sendo que esta poderá apresentar valor igual ou superior a pressão de atrito, ocorrendo no mesmo caso com os tempos de atrito e recalque (Bracarense, *et al.*, 2014; Brandi, *et al.*, 2004; Machado, 1996). Contrapondo a soldagem por atrito convencional, a soldagem inercial apresenta menor número de parâmetros, sendo estes o momento de inércia do cabeçote do volante, a velocidade de rotação no instante do contato e a pressão, a qual é mantida constante durante todo o processo (Bracarense, *et al.*, 2014). Neste método, a amostra é fixada no eixo móvel que está acoplado ao volante, que tem elevado momento de inércia e é ativado até uma velocidade predeterminada para a soldagem. Ao atingir a velocidade de rotação, o motor é desconectado e a pressão de atrito é imediatamente aplicada entre as partes até que a parada do movimento rotativo (Brandi, *et al.*, 2004; Machado, 1996).

O método empregado neste trabalho foi o híbrido, pois se utilizou as características do processo por arraste contínuo e do processo inercial. A peça móvel foi fixada no equipamento que possui um disco de inércia acoplado ao mesmo. Desse modo, o dispositivo inicia sua rotação até a velocidade predeterminada a qual é submetida a aplicação da pressão de atrito durante o tempo de atrito, após este período, a peça foi mantida em rotação pelo volante do sistema. O estudo dos parâmetros é de fundamental importância para a coleta de informações, as quais serão inseridas no banco de dados de parâmetros para a soldagem por atrito rotativo em materiais similares. O equipamento adaptado foi desenvolvido pela equipe do Departamento de Mecânica do Instituto Federal de São Paulo - Câmpus São Paulo (IFSP).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O material utilizado para a pesquisa foi o aço carbono SAE 1020, na configuração cilíndrica trefilada, possuindo diâmetro de 15,87 mm, a qual foi cortada e posteriormente usinada até o comprimento necessário para a realização dos experimentos. A composição do material de acordo com a norma SAE é composta aproximadamente por (0,18 – 0,23% C, 0,30- 0,60% Mn, 0,040% P_{máx.}, 0,050% S_{máx.}) e suas propriedades mecânicas são descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades mecânicas do aço SAE 1020 (Arcellor Mittal Brasil, 2019).

L. R. (MPa)	L. E. (MPa)	Escoamento 2% (MPa)	Escoamento 5% (MPa)	Dureza Vickers (HV)
420	350	15	40	180

2.2. Métodos

2.2.1. Confeção dos Corpos de Prova (CPs)

No procedimento experimental, a barra trefilada de aço carbono SAE 1020 com diâmetro de 15,87 mm, foi segmentada para a confecção de 8 pares de amostras, as quais foram usinadas para corte reto com comprimento final alternando entre 62 e 65 mm, no torno mecânico universal de bancada Ferrari BV-20.

2.2.2. Processo de soldagem

O equipamento utilizado para a realização da soldagem por atrito rotativo é com uma base de torno mecânico modelo ROMI S20 (Figura 1), com adaptações de um sistema hidráulico para fornecer energia a um atuador hidráulico acoplado ao equipamento, instrumentalizado com sensores e controlado por um Controlador Lógico Programável (CLP) para a realização do processo de solda.

Figura 1. Equipamento *retrofitting* situado no Instituto Federal de São Paulo (O autor, 2018).



O torno possui passagem de 300 mm de diâmetro por 500 mm entre as extremidades, potência de potência de 5,5 kW e velocidade de rotação máxima de 6150 rpm. A fixação dos CPs no aparato foi posicionada a 30 mm para fora das castanhas das placas de fixação em cada parte da amostra. Esta distância é recomendada para que ocorra a conformação do material, a qual está relacionada com a formação de rebarba. Os estágios do processo foram definidos de acordo com as pesquisas de Kanashiro (2017), Furlanetto (2017) e Sabor (2018):

- Fixação das partes do CPs;
- Posicionamento dos CPs (aproximação entre 2 mm e 3 mm);
- Início da rotação preestabelecida até que se estabilize;
- Início da aplicação da pressão de atrito por meio do atuador hidráulico;
- Tempo T₁ de aplicação da pressão de atrito P₁;
- Desligamento do motor elétrico que promove a rotação contínua e início do movimento inercial;
- Início da aplicação da pressão de forjamento/recalque P₂, pelo tempo T₂ de aplicação preestabelecido;
- Final do processo com o desligamento automático do equipamento.

O sistema de controle do equipamento foi desenvolvido em *Visual Basic* para o sistema operacional Windows 7 que se comunica com o CLP do equipamento (Kanashiro, 2017).

Os parâmetros utilizados para a execução da soldagem por atrito rotativo são apresentados na Tabela 2.

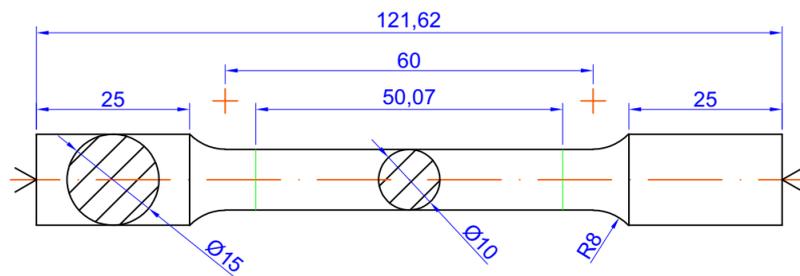
Tabela 2. Parâmetros utilizados para a soldagem por atrito rotativo híbrido do aço carbono SAE 1020 (O autor).

Experimento n°	Rotação (rpm)	Pressão de atrito (MPa)	Tempo de atrito (s)	Pressão de Recalque (MPa)	Tempo de Recalque (s)
1	1800	0,2	18	4	15
2	1800	0,2	13	4	15
3	1800	0,2	13	4	15
4	1800	0,2	12	4	15
5	1800	0,2	13	4	15
6	1800	0,2	13	4	15
7	1800	0,2	13	4	15
8	1800	0,2	13	4	15

2.2.3. Ensaio de Tração

Os CPs dos materiais em estado original e posteriormente soldados foram submetidos a usinagem em um torno CNC Ergomat modelo TND 200, segundo a norma NBR ISO 6892-1 de 27/03/2015 (Figura 2) os quais foram aplicados a ensaios de tração num dispositivo KRATOS v2.6, situada no Laboratório Físico da empresa Termomecânica - São Paulo S.A. com aplicação de carga de 100 kN a temperatura ambiente, possuindo velocidade de 10mm/min por ensaio.

Figura 2. Medidas dos corpos de prova segundo a norma ABNT 6892-1 (valores em mm) (ABNT, 2015).



2.2.4. Ensaio de Dureza Vickers e análise macroscópica

O corpo de prova a ser analisado no ensaio de microdureza *Vickers* foi produzido de acordo com a norma NBR NM ISO 6507-1, o qual possibilitará a determinação do índice de dureza *Vickers* do aço carbono SAE 1020 soldado por atrito. A amostra utilizada (experimento 3) para este ensaio foi previamente estudada na análise macrográfica em microscópio óptico Leica DM 2700 M com auxílio do software LAS V 4.12. O ensaio de Dureza *Vickers* foi realizado em um durômetro universal da marca *Wolpert Equipaments*, na região do metal base, zona de transição e região soldada. Os ensaios foram realizados no Laboratório Físico da empresa Termomecânica - São Paulo S.A.

3. RESULTADOS

Os dados obtidos no procedimento experimental da soldagem por atrito rotativo no método híbrido são apresentados na Tabela 3, onde buscou-se a padronização dos parâmetros adotados.

Tabela 3. Dados experimentais da soldagem por atrito rotativo híbrido do aço carbono SAE 1020(O autor).

Experimento n°	Comprimento inicial (mm)	Comprimento final (mm)	Varição do comprimento (mm)
1	129,06	118,64	10,42
2	128,39	124,91	3,48
3	130,10	122,01	8,09
4	130,96	130,72	0,24
5	130,33	121,44	8,89
6	129,30	126,58	2,72
7	126,64	121,66	4,98
8	131,03	126,27	4,76

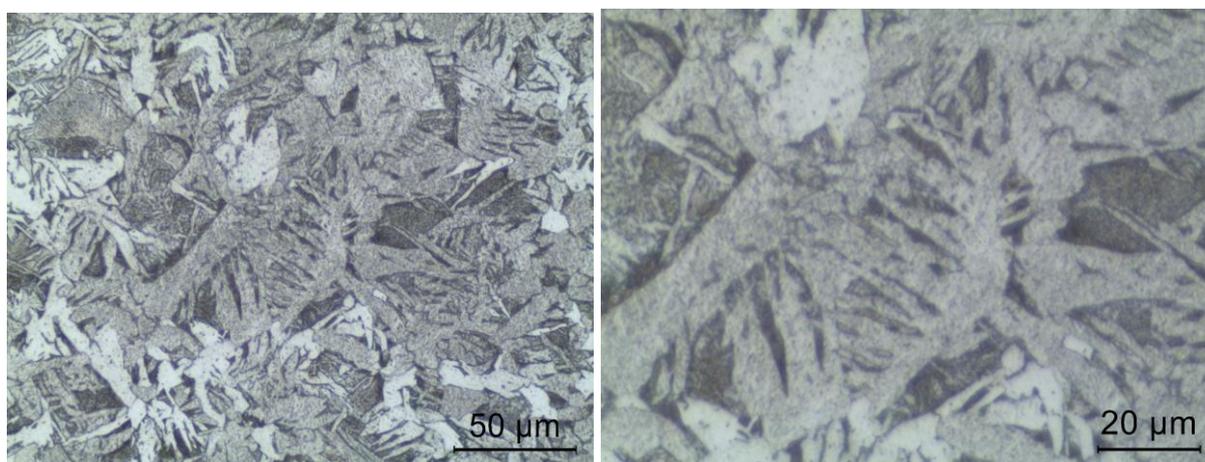
As amostras soldadas nos experimentos 8, 6, e 5 foram selecionadas para realização do ensaio de tração. As informações obtidas no ensaio são demonstradas na Tabela 4, onde demonstram um aumento da resistência mecânica do material obtida pela soldagem por atrito, visto que nos experimentos 5 e 6 denotam valores elevados para a resistência à tração quando comparados com os valores fornecidos pelo fabricante, vistos na Tabela 1.

Tabela 4. Resultados experimentais ensaio de tração (O autor, 2018).

Experimento n°	Resistência a Tração (MPa)	Escoamento 2% (MPa)	Escoamento 5% (MPa)	Carga Máxima (kgf)	Alongamento
6	572	532	566	4387,0	13
5	520	463	508	4071,0	12
8	571	527	563	4411,9	15

A união das peças soldadas no experimento 3, a qual foi selecionada para a análise em microscópio exibe a zona termicamente afetada (ZTA), conforme apresentado na Figura 3. Observa-se o refino da estrutura cristalina, assim como a visibilidade do formato acicular da ferrita, corroborando os resultados obtidos nos ensaios de tração os quais demonstram o aumento da resistência mecânica obtida na soldagem por atrito rotativo.

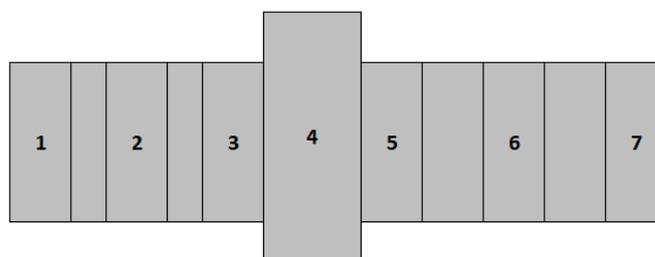
Figura 3. (a) Região da solda (500x). (b) Região de ruptura (1000x) (Autor, 2019).



Os resultados adquiridos no ensaio de dureza são apresentados na Figura 4 em um desenho esquemático do corpo de prova analisado e seus respectivos valores.

Figura 4. Resultados do ensaio de Dureza *Vickers* (Autor, 2019).

Região	Dureza HV 1			MÉDIA
	Superior	Meio	Inferior	
1	182	173	175	176,7
2	162	158	159	159,7
3	148	142	144	144,7
4	142	129	137	136,0
5	141	136	140	139,0
6	157	144	156	152,3
7	174	172	172	172,7



Observa-se uma disparidade no comprimento das zonas medidas, sendo causadas pela diferença das dimensões dos corpos de prova. Os valores obtidos nas regiões de transição (3 e 5), como também na região da ZTA (4), são inferiores aos apresentados no metal base (1, 6 e 7), demonstrando assim a perda de dureza do material durante o processo.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se a relação entre os parâmetros submetidos no controle de processo da soldagem por atrito rotativo e a factual união entre as amostras do aço carbono SAE 1020 realizada abaixo do ponto de fusão do material, verificando a transformação plástica da estrutura metálica. As vantagens ocorridas são: refino da estrutura cristalina, ausência de necessidade de materiais de adição, como também, o baixo tempo necessário para a realização da solda. Os ensaios de tração realizados, conforme a norma NBR ISO 6892-1: 2013, apresentaram o aumento da resistência mecânica da junta soldada em relação ao metal base, porém no ensaio de dureza *Vickers* (NBR NM ISO 6507-1), notou-se a redução da dureza na região termicamente afetada. As imagens registradas na análise micrográfica demonstram o refinamento da microestrutura, como também a presença da ferrita acicular.

Os parâmetros determinados nos experimentos para o equipamento adaptado garantiram a união no estado sólido para o aço carbono SAE 1020 de acordo com as análises dos resultados dos ensaios de tração, dureza e análise macrográfica e micrográfica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) e à Empresa Termomecânica - São Paulo S.A. pelo apoio que possibilitou a realização do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT, 2015. “NBR ISO 6892-1: 2013: Materiais metálicos - Ensaio de tração”. Rio de Janeiro.
- ABNT, 2008. “NBR NM ISO 6507-1: Materiais metálicos – Ensaio de dureza *Vickers*”. Rio de Janeiro.
- Akata, H.E e Sahin, M., 2003. “An investigation on the effect of dimensional differences in friction welding of AISI 1040 specimens”. *Industrial Lubrication and Tribology*, [S.L], Vol. 55, n. 5, p. 223-232.
- American Society of Metals (ASM), 1993. *Properties and selection: irons, steels and high performance alloys*. ASM International, ASM Handbook, Vol.1, 10ª edição.
- Arcelor Mittal Brasil, 2018. “Guia dos aços longos”. 28 Jan. 2019 <<http://brasil.arcelormittal.com.br/pdf/quem-somos/guia-aco.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2019.
- Bracarense, A. Q.; Marques, P. V.; Modenesi, P. J., 2014. *Soldagem: Fundamentos e Tecnologia*. UFMG, Belo Horizonte, 3ª edição.
- Brandi, S. D.; Mello, F. D. H. de; Wainer, E., 2004. *Soldagem: Processos e metalurgia*. Edgard Blücher, São Paulo.
- Furlanetto, T., 2017. *Estudo dos parâmetros de soldagem por atrito rotativo na união de material similar latão 65/35*. Dissertação de mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo.
- Kanashiro, L. R., 2017. *Desenvolvimento e instrumentação de equipamento e estudo dos parâmetros da soldagem por atrito rotativo na união similar AA6351-T6*. Dissertação de mestrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo.
- Machado, I. G., 1996. *Soldagem e técnicas conexas: processos*. Editado pelo autor, Porto Alegre.
- Sabor, W.C., 2018. *Análise dos parâmetros da soldagem por atrito rotativo coaxial entre o cobre eletrolítico e a liga CuCrZr para garantir condutividade elétrica*. Dissertação de mestrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

EVALUATION OF THE HYBRID ROTATING WELDING PROCESS OF SIMILAR MATERIALS CARBON STEEL SAE 1020

Jéssica Curvêlo Nascimento

Nila Cecília de Faria Lopes Medeiros

Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado, Km 16, Salobrinho, Ilhéus, Bahia.
jessicacurvelon@gmail.com; nclmedeiros@gmail.com

Wagner de Campos Sabor

Givanildo Alves dos Santos

Francisco Yastami Nakamoto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rua Pedro Vicente, 625, São Paulo/SP.
wsabor@ifsp.edu.br; givanildo@ifsp.edu.br; nakamoto@ifsp.edu.br

Abstract. *The present work was carried out in an equipment adapted for the accomplishment of the process of welding by rotating friction of similar material steel carbon SAE 1020. The parameters of the welding process and the correlation with the mechanical properties were determined by means of the tensile tests, hardness and metallographic analyzes. The experimental and micrographical data present a refinement of the crystalline structure in the region of the thermally affected zone (ZTA), with a relative reduction of the hardness in the ZTA and the formation of acicular ferrite.*

Keywords: *heat-affected zone, hybrid rotary friction welding, friction welding, micrographical analysis, similar material*

RESPONSIBILITY NOTICE

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