

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE LIGAS SIMILARES UNIDAS POR SOLDA A FRICÇÃO

Victor Maciel Cunha, victormaciel2@hotmail.com¹
Leonardo Ferreira de Melo, leo.ferreira94@gmail.com¹
Ayrton Hugo de Andrade e Santos, ayrtonhugo@pucminas.br¹
Luiz Carlos Figueiredo, luizfigueiredo@pucminas.br¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Rua Rio Comprido, 4.580, Prédio 2 – CEP 32010-025

Resumo: A soldagem é um processo importante na obtenção de ligações de peças. A soldagem por fricção tem como objetivo unir peças de materiais similares ou não, por meio da energia gerada pelo atrito dos materiais. Neste método não existe a contaminação do metal a ser soldado com a atmosfera de modo que as propriedades mecânicas desta solda apresentam características bem próximas do metal original. Neste trabalho, usando a soldagem à fricção rotativa horizontal, peças cilíndricas com 14 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento feitas de aço SAE 1020 foram soldadas e testadas à tração. As juntas soldadas apresentaram boa qualidade com total união entre as amostras, sendo observado que a zona afetada pelo calor, oriundo da conversão da energia cinética, necessário para a união final foi relativamente estreita. Os resultados encontrados permitem um melhor entendimento mecânico deste tipo de solda e comprovam a aplicabilidade deste método em materiais similares

Palavras-chave: Propriedades Mecânicas, Solda, Análise Experimental

1. INTRODUÇÃO

A soldagem por fricção tem como objetivo unir peças de materiais similares ou não, por meio da energia gerada pelo atrito dos materiais. Neste método não existe a contaminação do metal a ser soldado com a atmosfera de modo que as propriedades mecânicas desta solda apresentam características bem próximas do metal original (UDAY et al., 2010).

O desenvolvimento do processo de soldagem por fricção foi introduzido na União Soviética em 1956, onde uma das peças a serem soldadas é fixada a uma unidade motora enquanto a outra é presa a um mandril que gira com uma velocidade predeterminada (BRANDI et al., 1992). Para que ocorra a soldagem as peças são colocadas em contato e então uma força axial é aplicada. A energia cinética gerada pelas partes atritadas é transformada em calor e esse processo ocorre por um tempo predeterminado. A partir desta fase inicial, a peça é colocada em repouso por meio de um freio ou pela própria resistência a rotação. A força aplicada é mantida ou aumentada (força de forjamento) durante um tempo predeterminado com o intuito de finalizar o processo.

A soldagem por fricção pode ser realizada para união de chapas, através de uma ferramenta giratória que irá promover uma zona de mistura mecânica entre ambas, permitindo a união entre estas (soldagem por fricção com ferramenta rotativa), ou pelo método conhecido como soldagem por fricção horizontal, abordado neste trabalho, em que uma das peças é fixada enquanto um movimento rotativo é aplicado na outra peça. Quando conectadas nestas condições por meio de uma determinada força axial, o atrito gerado entre as mesmas levará a conversão da energia cinética no calor necessário para união final.

O processo dura poucos segundos, a solda é de alta resistência e a zona afetada pelo calor, relativamente estreita. Esta tecnologia apresenta propriedades mecânicas muito boas, pois o processo é realizado no estado sólido, a ligação final dá-se por caldeamento, evitando a formação da fase líquida. Como não há fusão do metal a ser soldado, não existe a contaminação com a atmosfera e as propriedades mecânicas da solda são próximas da do metal original (MOARREFZADEH, 2012).

Neste sentido, esse trabalho objetiva determinar os parâmetros para a realização da soldagem a fricção e verificar a qualidade desta solda por meio de ensaios mecânicos de tração, analisando qualitativamente o estado final desta solda.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Solda por fricção

A soldagem por fricção é um processo de soldagem em estado sólido, que produz soldas pela rotação ou movimento relativo de duas peças sobre forças compressivas produzindo calor e deslocando plasticamente material nas superfícies de atrito (AWS, 1991). Esta técnica tem como objetivo a união de juntas pelo caldeamento, gerado com a conversão da energia cinética em calor, através do atrito provocado pelo movimento das superfícies em contato, e a aplicação de pressão (LÓPEZ, 2010).

Não se atinge a temperatura de fusão do material na soldagem por fricção e também não são necessários o uso de metal de adição, produtos para proteção da solda e ou fonte externa de calor. A solda resultante é de alta qualidade sendo possível obter a total coalescência dos materiais quando usados os parâmetros ideais.

A técnica de soldagem por fricção abrange vasta gama de aplicações, apresentando variados empregos desde em peças aeroespaciais para fuselagem a tubos de perfuração usados na extração de petróleo (drill pipers) e poços de água (drill rods) (THOMPSON, 2014). A união de partes de máquinas pesadas como: válvulas, pistões, cilindros metálicos, eixos cardan tornam esse método de solda o mais eficiente ou o único possível para sua realização.

2.2. Ensaios de caracterização

Em função do processo de soldagem a fricção ocorrer no estado sólido, os defeitos existentes nos processos convencionais como poros devido a gases, inclusões de escória e fase frágil não ocorrem na soldagem a fricção. Os defeitos mais comuns neste tipo de solda são: cisalhamento na zona afetada pelo calor decorrente de uma velocidade baixa do mandril e defeitos centrais causados por pequenos orifícios no centro de uma das peças.

Os ensaios utilizados na identificação dos defeitos e no posterior controle de qualidade são: ensaio de tração, flexão, impacto e fadiga. Além destes, testes de metalografia da junta soldada, como medidas de durezas ao longo da zona afetada pelo calor também são indicados para qualificar a solda (BRANDI et al., 1992).

Nesse trabalho avaliou-se o desempenho das amostras soldadas através do teste de tração. O ensaio de tração é um dos ensaios mecânicos de tensão- deformação mais comum. O mesmo tem capacidade de avaliar diversas propriedades mecânicas dos materiais, além de validar a qualidade das propriedades de uma solda. Uma amostra é deformada, geralmente até a sua fratura, mediante uma carga de tração gradativa crescente que é aplicada uniaxialmente ao longo do eixo mais comprido de um corpo de prova (CALLISTER, 2010). Como não existe um padrão para os corpos de prova soldados por fricção para ensaios de tração, utilizou-se como referência a NBR 6892-1:2013.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Materiais e Equipamentos

Para este trabalho foram utilizadas barras de aço carbono conforme norma da *American Society for Testing and Materials* - ASTM 1020, que foram adquiridas no formato de barras com comprimento nominal igual a 1000 mm e diâmetro nominal a 16 mm. O fabricante informou a composição química nominal da liga como sendo: C = 0,2; Si = 0,25 e Mn = 0,45.

As peças foram usinadas em um torno para adequação do diâmetro final para 14 mm. Posteriormente, as amostras foram afixadas em um torno convencional NARDINI 350 que foi adaptado usando um pistão hidráulico com capacidade máxima de pressão igual a 20 Mpa e uma central hidráulica FESTO constituída por duas bombas internas com deslocamento fixo e saídas independentes tendo uma vazão em cada de 0,000083m³/s, operando com uma pressão na faixa de 0 a 8 Mpa, tendo uma pressão máxima de 10 Mpa e um motor elétrico de 2,21 kW. Para permitir a condução do fluido e a ligação dos elementos do sistema hidráulico (central hidráulica/pistão) utilizou-se 8 mangueiras flexíveis com trama de aço. Nessas mangueiras foram interligadas 2 válvulas FESTO (com pressão máxima de operação: 21 Mpa, vazão nominal: 0,00067 m³/s e conexões de engate rápido antivazamento) e uma conexão em T para direcionar o fluido com as respectivas pressões. Uma das válvulas apresenta a função de selecionar a pressão adequada (1 ou 2), enquanto a outra válvula é responsável pelo avanço/ recuo do pistão. Para possibilitar a instalação hidráulica foi também utilizada uma conexão em T. A Figura 1 representa esquematicamente a montagem do sistema, e as Fig. 2 e Fig 3 apresentam a instalação do equipamento com as respectivas válvulas e mangueiras.

3.2. Metodologia

3.2.1. Parâmetros de solda adotados

Alguns parâmetros devem ser levados em consideração para a realização da soldagem por fricção, sendo que neste trabalho, os parâmetros utilizados para a execução da solda foram a velocidade, pressão e tempo de contato entre as peças (SATHIYA et al., 2006).

O controle destes parâmetros permitiu o desenvolvimento de uma solda com uma rebarba (material expelido para as extremidades das amostras, quando as amostras são unidas por fricção) uniforme e um alinhamento transversal das amostras soldadas.

Além destes parâmetros utilizados, à dimensão das amostras, mais especificamente a área de contato das amostras influencia diretamente no resultado da solda. Isso pode ser explicado pelo fato que a área de contato altera proporcionalmente a pressão adotada no sistema (SATHIYA et all, 2006).

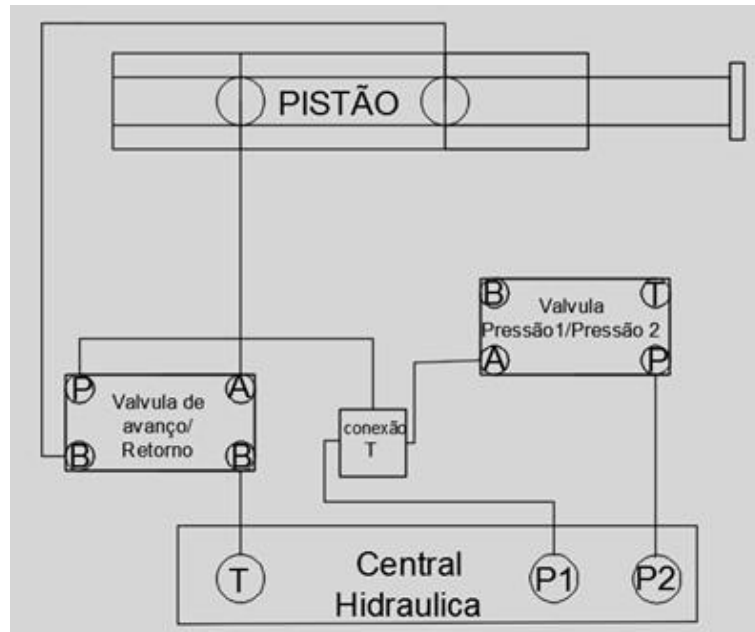


Figura 1. Esquema de montagem do equipamento de solda por fricção

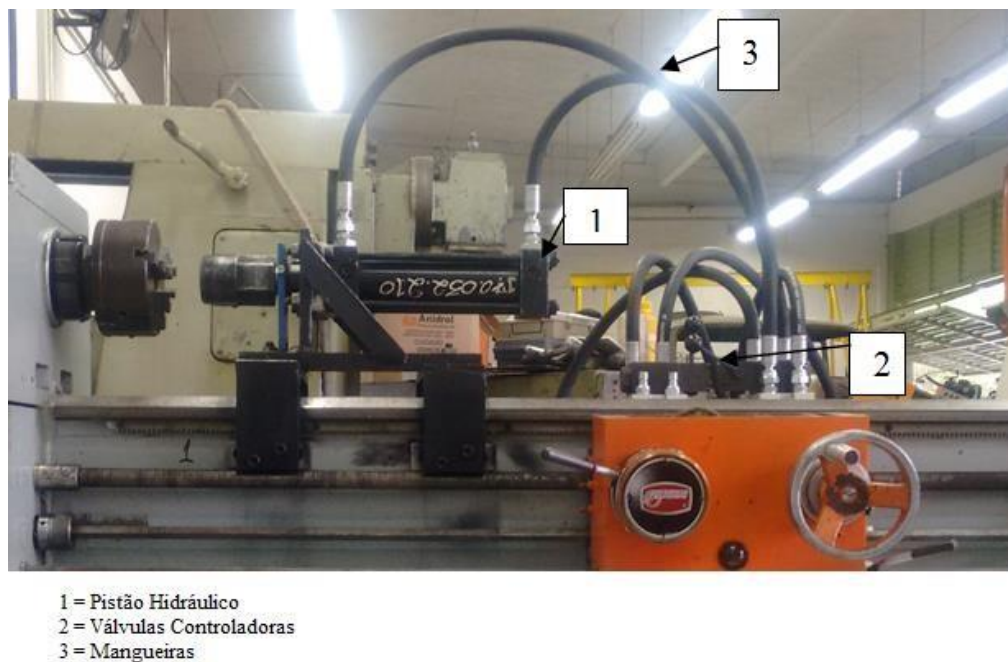


Figura 2. Instalação do equipamento

Na técnica adotada neste trabalho, usam-se duas pressões distintas. A pressão inicial (P1) é utilizada para colocar os materiais em contato fazendo com que ocorra a retirada das impurezas da superfície (óxidos, graxa, óleo, poeira e outros contaminantes), transformando a energia cinética gerada pelo atrito em calor. Quando a parte giratória é desligada é introduzida uma pressão (P2) que tem como finalidade garantir a força de forjamento, sendo está mantida por um tempo determinado.

3.2.2. Corpos de Prova

Neste trabalho foram usados quatro corpos de prova, mas só foram soldados três corpos de prova. Estes com comprimento nominal de 160 mm e com diâmetro de 14 mm, e foram confeccionados seguindo os parâmetros apresentados acima. A Figura 4 ilustra um dos quatro corpos de prova confeccionados.



4 = Torno Convencional
5 = Central Hidráulica
6 = Conexão T

Figura 3: Instalação do equipamento



Figura 4. Corpo de prova soldado

Esses corpos de prova foram produzidos através da usinagem em um torno convencional, onde após o recebimento do material com diâmetro inicial de 16 mm foi convertido para 14mm através de um único passo de 2mm para adaptação do mesmo ao dispositivo onde foi realizada a soldagem.

3.2.3. Ensaios

Para três corpos de prova soldados, similares ao apresentado na Fig. 4, foram realizados ensaios de tração, utilizando uma máquina de tração EMIC servo controlada com capacidade de 200 kN, sendo efetuado um incremento de carga conforme estipulado pela NBR 6892-1:2013. A Figura 5 apresenta o equipamento utilizado e a execução do ensaio de tração em uma amostra, bem como a zona afetada termicamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CORRELAÇÃO ENTRE PRESSÃO, TEMPO DE SOLDAGEM E ZONA TERMICAMENTE AFETADA

Algumas relações entre os parâmetros de pressão, tamanho da zona afetada pelo calor e tempo de soldagem (tempo em que a peça está submetida a p1) foram observadas durante o trabalho. Analisou-se o comportamento do aço SAE 1020 nas soldagens com as seguintes pressões iniciais: 0,343MPa, 0,441Mpa, 0,490MPa e 0,588MPa. A definição destas pressões ocorreu em função de testes empíricos em que foi observado que pressões superiores a essas impossibilitavam o alinhamento entre as amostras soldadas.

Quando aplicou-se a pressão de 0,343MPa pode-se observar um tempo elevado na formação da rebarba e com isso um aumento considerável na zona afetada pelo calor, aferida pela região mais escura na Fig. 6(a). Para a pressão de 0,441MPa o tempo para a formação da rebarba e zona afetada pelo calor foi menor, Fig. 6(b), sendo obtido com a pressão de 0,490MPa um tempo para a formação da rebarba e zona afetada pelo calor ainda menor se comparada com as pressões anteriores Fig.6(c). Ao imprimir a pressão de 0,588MPa o motor do dispositivo de soldagem não suportou a

resistência ao movimento desarmando o equipamento interrompendo o processo de solda. SANTOS et al. (2014) descrevem em detalhes a relação força x área x material para execução de soldas por atrito.

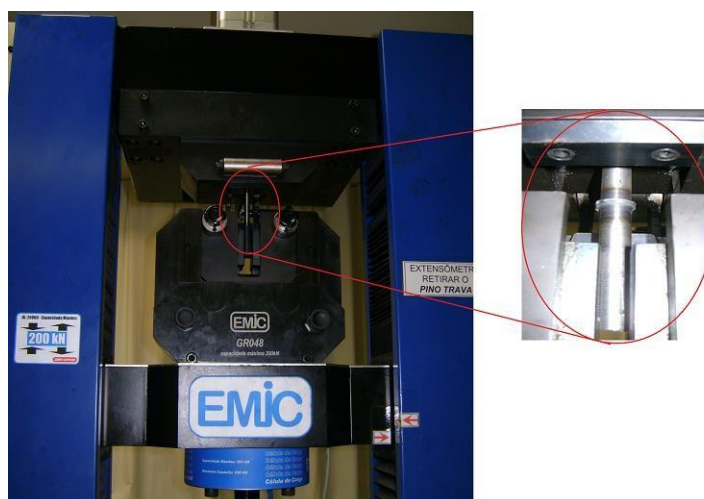


Figura 5. Ensaio de tração de amostras soldas por fricção.

Com isso observou-se que a pressão aplicada está diretamente ligada ao tempo de solda e zona afetada pelo calor, quanto maior for a pressão menor será tempo de solda e zona afetada, porém existe um limite ao qual o equipamento resiste. A Figura 6 representa as amostras soldadas para pressão de 0,343MPa, 0,441Mpa e 0,490MPa, respectivamente e a Tab. (1) apresenta os dados comparativos entre tempo, pressão e tamanho da zona termicamente afetada.

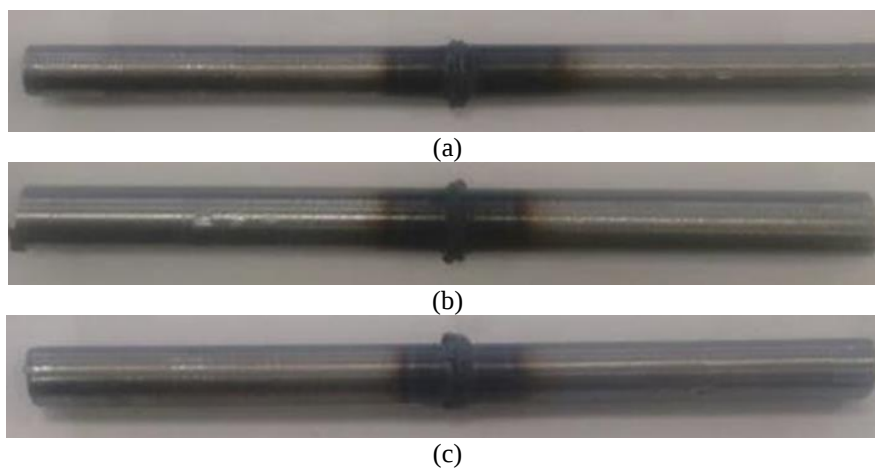


Figura 6. Amostras soldadas do aço 1020 obtidas com a variação da pressão: (a) 0,343MPa; (b) 0,441MPa e (c) 0,490MPa

Tabela 1. Comparação entre pressão, tempo e tamanho da zona afetada

Pressão (MPa)	Tempo (s)	Tamanho da zona afetada
0,343	25	34 mm
0,441	18	28 mm
0,490	14	23 mm

Observa-se pela Figura 6 que a solda que obteve uma rebarba mais uniforme foi à solda com uma pressão de 0,343Mpa.

4.2. Ensaio de tração

O ensaio de tração foi executado na prensa servo controlada da EMIC (Fig 5). Todas as três amostras tiveram a ruptura fora da zona afetada, como mostra a Figura 7 e comprovado por análise por metalografia.

A Figura 7 apresenta uma amostra após o ensaio de tração. Na Figura 8 são apresentadas as curvas tensão x deformação para os três corpos de prova soldados e o corpo de prova sem solda.

Observa-se pela Fig. 8 que as tensões de ruptura obtidas para os corpos de provas soldados foram da mesma ordem de grandeza dos valores obtidos para a amostra sem solda, sendo que a tensão máxima foi aproximadamente de 434,6 MPa para as peças com solda e 469 MPa para a peça sem solda.

Em termos de deformação específica observa-se que a solda por fricção não influenciou na ductilidade/fragilidade do material, uma vez que não houve dispersão dos dados para as amostras soldadas e a amostra sem solda.



Figura 7. Amostra após o ensaio de tração.

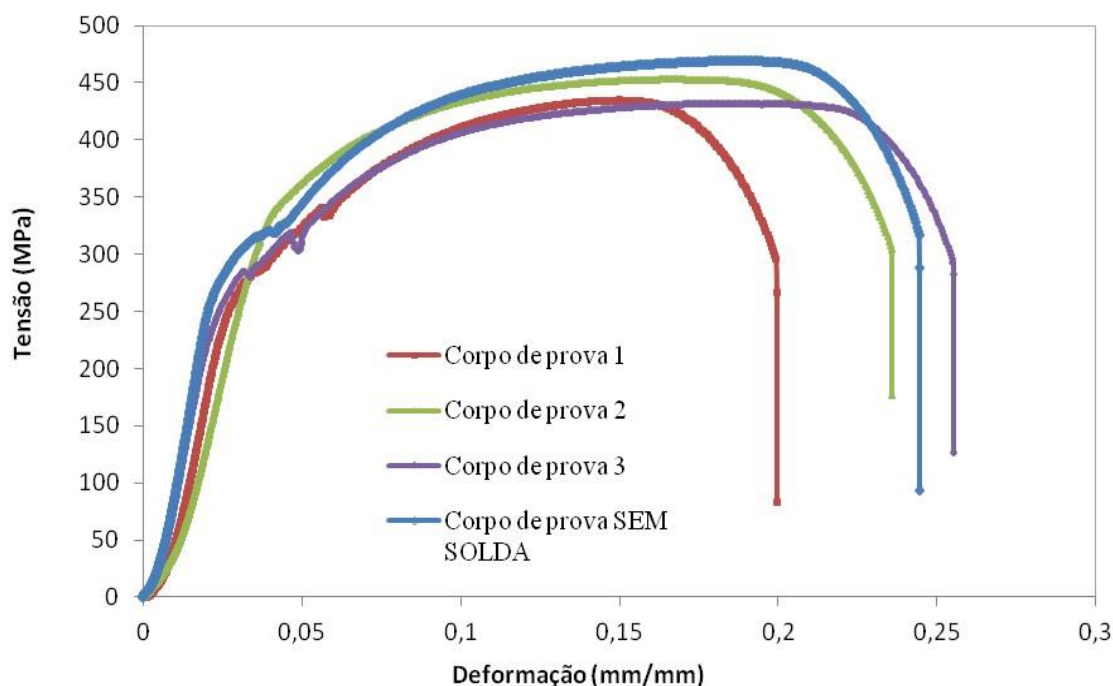


Figura 8. Resultado do ensaio de tração para peças soldadas e sem soldas

5. CONCLUSÕES

Todas amostras submetidas ao ensaio de tração romperam no metal base. Sendo assim, as propriedades mecânicas da zona soldada por fricção são melhores que as do próprio material base. O estudo comprova que resultados satisfatórios podem ser obtidos com tal técnica, tornando-a apta a uma gama de aplicações. O estudo deve prosseguir envolvendo outros tipos de materiais similares e dissimilares. O dispositivo de soldagem está apto a realizar soldagem a fricção estando disponível para toda a comunidade acadêmica da PUC-Minas. O mesmo é capaz de efetuar soldas de ótima qualidade e de distintos materiais, tendo suas limitações como, por exemplo, o diâmetro, tipo de material e o comprimento das peças a serem soldadas. Este trabalho encontra-se em continuidade buscando melhorias no mecanismo utilizado e a realização de soldas com diferentes ligas e outros ensaios mecânicos serão propostos e realizados.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo de Pesquisa da PUC Minas (FIP/PUC) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6892, 2013, Materiais metálicos; Ensaio de Tração Método de ensaio à temperatura ambiente, pp. 1-70.
- AWS - Norma American Welding Society - AWS D1.1/D1.1. 1M:2010.
- BRANDI, Sérgio Duarte; WAINER, Emílio; MELLO, Fábio Décourt Homem de, “Soldagem: Processos e Metalurgia”, 1992, Editora Edgard blucher Ltda , pp.317-494.
- CALLISTER JR, William D, “Ciência Engenharia de Materiais: Uma Introdução”, 8. Ed. Editora Ltc, 2010, pp.219-885.
- LOPEZ, Facundo Sebastián, “Montagem e avaliação de uma máquina de solda por fricção”, Rio Grande do Sul 2010.
- MOARREFZADEH, A., “Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process”, Journal of Mechanical Engineering, Vol. 1, No. 1, January 2012, pp. 11-17.
- SANTOS, A.J., OLIVEIRA, D.A., ALMEIDA, N.G.S., “Construção de uma Máquina Didática de Solda por Fricção”, Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Contagem, 2014, 101 ps.
- SATHIYA, P., ARAVINDAN, S., HAQ, A.N., PANNEERSELVAM, “Optimization of friction welding parameters using simulated annealing “, Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, Vol. 13, February 2006, pp. 37-44.
- UDAY, M.B., FAUZI, M.N.A., ZUHAILAWATI, H., ISMAIL, A.B., “Advances in friction welding process: a review”, Science and Technology of Welding and Joining, Volume 15, Issue 7, 2010 pp.534-558.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF MECHANICAL RESISTANCE FOR SIMILAR ALLOYS UNITED BY FRICTION WELDING

Victor Maciel Cunha, victormaciel2@hotmail.com¹
Leonardo Ferreira de Melo, leo.ferreira94@gmail.com¹
Ayrton Hugo de Andrade e Santos, ayrtonhugo@pucminas.br¹
Luiz Carlos Figueiredo, luizfigueiredo@pucminas.br¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Rua Rio Comprido, 4.580, Prédio 2 – CEP 32010-025

Abstract The welding is an important process in obtaining parts connection. The friction welding aims to join pieces of similar materials or not, by the energy generated by friction materials. In this method there is no metal contamination to be welded with the atmosphere so that the mechanical properties of this solder exhibit very close characteristics of the original metal. In this paper using the horizontal rotary friction welding, cylindrical pieces with 14 mm of diameter and 50 mm in length made of SAE 1020 steel were welded and tested tensile. Welded joints have good quality with full union between the samples, it is observed that the heat affected zone, arising from the conversion of kinetic energy, needed for the final union was relatively narrow. The results allow a better understanding of this type of mechanical welding and demonstrate the applicability of this method in similar materials

Keywords: Mechanical properties, Weld, Experimental analysis, friction welding