



21 - 25  
AGOSTO DE 2016  
FORTALEZA - CEARÁ

## PARÂMETROS DE SOLDAGEM E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE LIGAS SIMILARES E DISSIMILARES UNIDAS POR SOLDA A FRICÇÃO

Gilmar Cordeiro da Silva<sup>1</sup>, gilmarcord@gmail.com  
Leonardo Ferreira de Melo, leo.ferreira94@gmail.com  
Leonel Dimas Abreu, leonel@pucminas.com.br  
Luiz Carlos Figueiredo, luizfigueiredo@pucminas.br  
Victor Maciel Cunha, victormaciel2@hotmail.com  
Thaís Roberta, trcampos@pucminas.br

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

**Resumo:** O método denominado soldagem por fricção visa a união de materiais dissimilares ou similares por meio da energia obtida pelo atrito entre as peças que se pretende unir. Diferentemente da maioria das técnicas de soldagem utilizadas na indústria, o método não necessita da inserção externa de calor para a união das partes. O objetivo principal desse estudo foi verificar correta adaptação de torno convencional a um pistão controlado por uma central hidráulica. Para isso na máquina adaptada, amostras com 14mm de diâmetro e 50mm de comprimento e foram soldadas pelo método de soldagem à fricção horizontal rotativa utilizando o aço SAE1020, ligas de alumínio e cobre. No decorrer da pesquisa ocorreram intervenções no equipamento para a obtenção dos parâmetros ideais de solda na união dissimilar e similar e as propriedades mecânicas das soldas foram obtidas

**Palavras-chave:** Soldagem a fricção, ligas similares e dissimilares, propriedades mecânicas, parâmetros de solda.

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem por fricção é realizado por rotação ou movimento relativo de duas peças em contato com forças compressivas. A união partes metálicas ocorre através de caldeamento, gerado com a conversão da energia cinética em calor, através do atrito e a aplicação de pressão (LÓPEZ, 2010), (AWS, 1991).

No processo a união das superfícies é feita a temperaturas inferiores à de fusão do material, sem inclusão de materiais de brasagem, metal de adição e calor de fonte externa. Envolve mecanismo de difusão e deformação para produzir uniões de alta qualidade entre os materiais, sejam eles dissimilares ou similares.

A técnica ganhou duas variantes, cuja diferença está no modo de geração de energia: a soldagem convencional e a soldagem por atrito inercial. No processo de soldagem convencional, método abordado neste trabalho, uma das peças é fixada a uma unidade motor enquanto a outra é presa a um mandril que gira com uma velocidade predeterminada. Para a soldagem as peças são colocadas em contato e uma força axial é aplicada. A energia cinética gerada entre as superfícies atritadas é transformada em calor por um tempo predeterminado. A peça é colocada em repouso por meio de um freio ou pela própria resistência a rotação e a força aplicada é mantida durante um tempo.

O tempo do processo é rápido, a zona afetada pelo calor é estreita e as propriedades mecânicas obtidas são boas, visto que a solda é realizada no estado sólido, a ligação final dá-se por caldeamento evitando a formação da fase líquida. Como não ocorre a fusão do metal soldado não existe a contaminação com a atmosfera e as propriedades mecânicas da solda são próximas do metal original. Na literatura é possível encontrar parâmetros variados relevantes ao processo de soldagem por fricção. Logo, é imprescindível conhecer tais parâmetros a correta realização do processo. (AWS, 1989; AWS, 1991; GREWE, 1997; SPINDLER, 1994 apud BRACARENSE).

Neste estudo foi verificada a correta adaptação de um torno convencional a um pistão controlado por uma central hidráulica. Para isso na máquina adaptada foram soldadas amostras pelo método de soldagem à fricção horizontal rotativa foram utilizados os materiais aço SAE1020, ligas de alumínio e cobre como intuito de avaliar a máquina adaptada e atingir a qualidade e resistência a tração na junta soldada de ligas similares e dissimilares.

A obtenção dos parâmetros ideais de soldagem prosseguiu juntamente com variações nas dimensões iniciais das amostras. Isto devido os parâmetros de soldagem depender das dimensões e do tipo do material das amostras. Modificações no mecanismo utilizado também foram necessárias para a realização da soldagem, posteriormente foi realizada ensaio de tração e análise da microestrutura resultante do processo de união.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova foram o aço SAE 1020 e as ligas de alumínio ABNT 2011 e Cobre eletrolítico ASTM C11000. Os certificados da composição química dos materiais estudados foram obtidos junto ao fornecedor da matéria prima, conforme “Tab 1”.

**Tabela 1. Composições Químicas das ligas utilizadas**

| <b>Liga<br/>ABNT</b>                   | <b>Al<br/>(%)</b> | <b>Si<br/>(%)</b> | <b>Fe<br/>(%)</b> | <b>Cu<br/>(%)</b> | <b>Mn<br/>(%)</b> | <b>C<br/>(%)</b> | <b>Zn<br/>(%)</b> | <b>Outros<br/>(%)</b> |
|----------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| <b>Al - ABNT 2011</b>                  | Restante          | 0,40              | 0,70              | 5,0- 6,0          | -                 |                  | 0,30              | 0,15                  |
| <b>Aço 1020</b>                        | -                 | ≤ 0,100           |                   |                   | 0,3 – 0,6         | 0,180– ,230      | -                 | -                     |
| <b>Cu eletrolítico<br/>ASTM C11000</b> | -                 | -                 | -                 | 99,90<br>(mín)    | -                 |                  | -                 | -                     |

**Fonte: Elaborado pelo autor**

As dimensões iniciais dos corpos de prova foram de 100 mm de comprimento, com diâmetro de 16mm, sendo todos faceados e posteriormente preparados para soldagem. Após os testes corpos de prova foram cortados, embutidos e analisados em microscópio optico. Para o ensaio de tração foi utilizado uma máquina de ensaio universal EMIC equipado com célula de carga e software de coleta de dados PANANTEC.

A máquina utilizada para a soldagem dos corpos de prova é composta da adaptação de 3 (três) dispositivos principais. Torno convencional NARDINI 350, pistão hidráulico com capacidade máxima de pressão de 200 bar e uma central hidráulica. As especificações técnicas da central hidráulica e do torno convencional são mostradas na “Tab 2” e “Tab 3” respectivamente.

**Tabela 2. Especificações Técnicas Central Hidráulica**

| <b>CENTRAL HIDRÁULICA FESTO</b>                                        |                      |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Capacidade do reservatório de óleo                                     | 40 litros            |
| Motor elétrico de acionamento                                          | 3 Cv                 |
| Vazão de cada bomba                                                    | 5 litros por minuto  |
| Vazão total                                                            | 10 litros por minuto |
| Pressão de operação: 0 a 80 bar                                        | 0 a 80 bar           |
| Pressão máxima                                                         | 100 bar              |
| Bomba dupla de engrenagens com deslocamento fixo e saída independentes |                      |

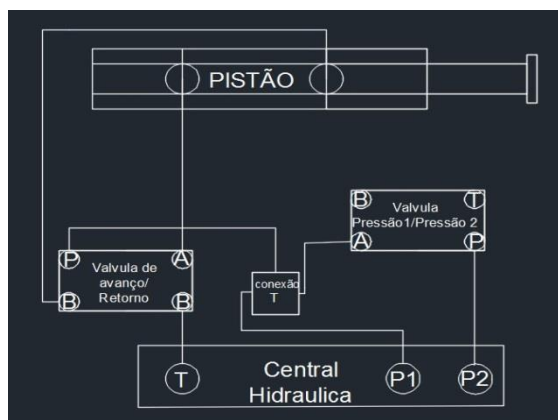
**Fonte: Elaborado pelo autor**

**Tabela 3. Especificações Técnicas Torno Mecânico**

| <b>TORNO NARDINI</b> |                     |
|----------------------|---------------------|
| Modelo               | MS350               |
| Barramento           | 1400 mm             |
| Entre ponto          | 1000 mm             |
| Volteio              | 350 mm              |
| Motor                | 380 Volts Trifásico |
| Rotação              | 30/1850 rpm         |

**Fonte: Elaborado pelo autor**

Para a condução do fluido com as respectivas pressões e o engate dos elementos do sistema hidráulico (central hidráulica/pistão) foram utilizados 8,0 (oito) mangueiras flexíveis com trama de aço interligadas com 2 (duas) válvulas e uma conexão em T. Uma válvula de 4/2 vias foi utilizada com função de selecionar a pressão e outra válvula 4/3 vias responsável pelo avanço/ recuo. O esquema do sistema hidráulico é mostrado na “Fig. 1”.



**Figura 1. Esquema Sistema Hidráulico**

**Fonte: Elaborada pelo autor.**

A “Figura 2” mostra a máquina adaptada com suporte removível para a fixação do pistão. Esse por sua vez possui em sua haste uma “garra” centralizada com o conjunto placa e castanhas do torno responsável pela fixação das amostras a serem soldadas



**Figura 2. Adaptação pistão/torno**

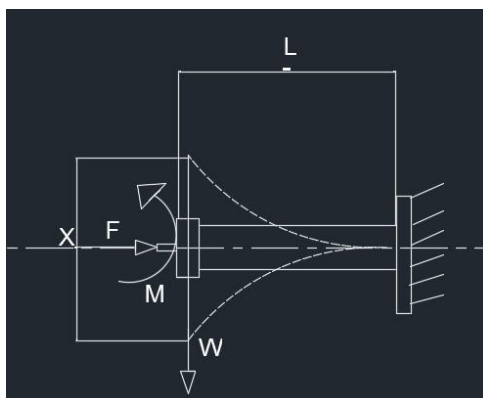
**Fonte: Elaborada pelo autor**

### 3. RESULTADOS INICIAIS

No decorrer do trabalho alguns problemas foram evidenciados no mecanismo utilizado, dentre eles a vibração excessiva e o alinhamento entre a placa e garra. Ambos são justificáveis, pois no contato de um corpo parado com outro em alta velocidade angular, forças resistentes ao movimento são geradas levando a torques contrários provocando a movimentação das partes mais propícias a movimentação. Sendo assim a otimização do equipamento buscou sempre suprimir este movimento de tais partes específicas, alterando as variáveis que impedissem a vibração, seja a massa, a rigidez do sistema como um todo e até mesmo as dimensões das partes envolvidas.

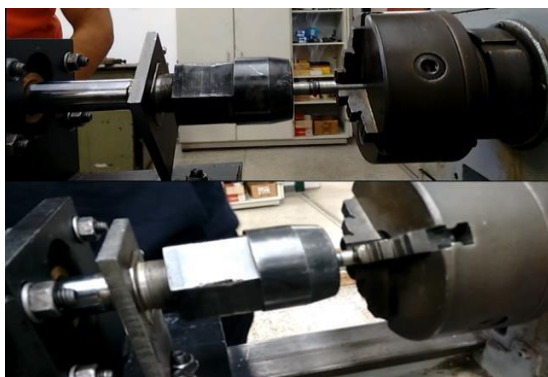
Uma folga existente entre a rosca da garra e o pistão impossibilitavam o alinhamento ideal para o processo de soldagem, a fonte de vibrações foi eliminada com a execução de uma nova rosca e a utilização de um adesivo químico anaeróbico para a fixação de ambos.

Um fator também detectado pelo excesso de vibração foi o comprimento da haste do pistão. Durante a soldagem, a parte da haste em que a amostra é fixada, está submetida a uma força de reação da pressão aplicada. Na extremidade do pistão, o dispositivo que fixa a amostra possuía uma massa significativa, quando fixada a ele e em atrito com a amostra em rotação ocorre o deslocamento exemplificado na “Fig. 3”. A parte oposta da haste é engastada no pistão, onde se tem um momento fletor que favorece a vibração excessiva na garra e onde a amostra é acoplada. Uma das soluções para aliviar a vibração foi diminuir a distância entre o pistão e a castanha do torno diminuindo por fim o comprimento da haste durante a soldagem. Na “Figura” 4 pode se observa essa diferença no comprimento da haste, antes e depois das alterações no dimensionamento.



**Figura 3. Diagrama de Força no pistão**  
**Fonte: Elaborado pelo autor**

Onde: W é a força peso; M é momento gerado; F é reação da pressão aplicada; X é deslocamento da haste em vibração e L é Comprimento da haste.



**Figura 4. Equipamento em trabalho antes e depois da alteração**  
**Fonte: Elaborada pelo autor**

A técnica de soldagem adotou os parâmetros de trabalho como velocidade, pressão e tempo. Para cada material têm-se diferentes conjuntos de parâmetros, isto porque cada material apresenta diferentes propriedades que influenciam diretamente os parâmetros de solda como, por exemplo, o coeficiente de atrito, ductilidade e o coeficiente de condutividade térmica.

Materiais menos dúcteis por definição deformam menos plasticamente dificultando a união, já que a técnica de soldagem provoca a aproximação dos átomos das diferentes amostras deformando ambas as superfícies até que ocorra a interpenetração de materiais entre ambas. Sendo assim o papel do atrito neste processo de solda é gerar o calor para que os produtos a serem unidos fiquem mais dúcteis e susceptíveis a deformação plástica e por consequência ocorra a coalescência da junta soldada. Portanto situações com maiores coeficientes de atrito alcançarão a temperatura necessária para união mais rapidamente já que o atrito está diretamente ligado ao calor gerado. Este último deve-se concentrar nas extremidades das amostras que estão sendo atritadas não sendo desejado sua dissipação, o que pode provocar alterações no material e até mesmo o superaquecimento do conjunto mecânico utilizado.

Além das propriedades mecânicas, os parâmetros de solda são dependentes das dimensões das amostras, mais especificamente da área de contato entre as faces que se pretende unir, isto é justificável já que a área de contato altera diretamente a pressão e a dissipação de calor. Em relação a pressão esse método utiliza duas pressões distintas, a pressão inicial ( $p_1$ ) utilizada para colocar os materiais em contato, retirar as impurezas da superfície (óxidos, graxa, óleo, poeira e outros contaminantes) e transformar a energia cinética gerada pelo atrito em calor. Quando a parte giratória é desligada é introduzida uma pressão ( $p_2$ ) que tem como finalidade garantir a força de forjamento que é mantida por um tempo determinado.

### 3.1 Evolução das amostras soldadas

Inicialmente os procedimentos de solda foram realizados com amostras de 50 mm de comprimento e 8 mm de diâmetro, o primeiro material a ser testado foi a liga de aço SAE 1020. Utilizou-se a rotação máxima do torno igual a 1850 rpm e a pressão igual a 2kgf/cm<sup>2</sup>

Durante a realização da solda grande vibração foi observada deixando o material expelido (rebarba) para fora região da solda, sendo totalmente irregular e descentralizada, observou-se que a pressão foi excessiva a ponto de deformar as amostras ao longo do seu comprimento. Como a pressão utilizada foi baixa, ou seja, próxima a mínima, a redução da pressão não apresentaria resultados tendo em vista a grande deformação causada as amostras. Uma saída viável foi encontrar um diâmetro favorável em que fosse possível trabalhar a técnica de soldagem a fricção sem danos as amostras. Os diâmetros das amostras foram variados de 8 mm para 10mm e depois para 12 mm chegando no diâmetro final de 14mm, sendo o último o ideal adotado adequando-se então as amostras ao equipamento.

Diferentes pressões e velocidades foram testadas, pressões elevadas propiciavam a vibração, descentralização das amostras e rebarba irregular. Foram testadas amostras de aço SAE 1020 com a configuração de pressão 1 igual a  $14 \text{ kgf/cm}^2$  e pressão 2 =  $16 \text{ kgf/cm}^2$ , entretanto a pressão ideal encontrada para o aço foi pressão 1 igual a  $2 \text{ kgf/cm}^2$  e pressão 2, igual  $10 \text{ kgf/cm}^2$ . A pressão 1 foi consideravelmente menor que a dois, por não poder ser elevada, pois é por meio dela que o atrito se inicia nos corpos prova. Como observado valores muito elevados acabam gerando inconformidades nos resultados. A segunda pressão foi de um valor mais elevado, esta é aplicada em um curto intervalo de tempo para garantir a total união dos materiais.

A “Figura 5” mostra a evolução das amostras no decorrer do trabalho com todos os diâmetros testados de 8 mm a 14 mm, observa-se a melhora progressiva da qualidade da solda ao longo da variação dos diâmetros das amostras



**Figura 5. Evolução das amostras**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

Para todos os materiais chegou-se a uma velocidade ideal igual à velocidade máxima do torno 1850 rpm, velocidades inferiores apresentaram para todos os materiais efeitos indesejados como o não aquecimento ou grande demora de aquecimento do material demonstrando velocidade insuficiente. Em todos os materiais buscou-se equalizar os melhores valores de velocidade, pressão e tempo de solda.

Para a união das ligas de alumínio e cobre partiu-se do princípio de serem materiais mais dúcteis em relação ao aço SAE 1020, menores pressões seriam necessárias para soldagem das amostras. Sendo a pressão 1 utilizada para soldagem das amostras de ambos de no máximo  $1 \text{ kgf/cm}^2$  e a pressão 2 também um pouco inferior à do aço SAE 1020 sendo ela  $8 \text{ kgf/cm}^2$ . Essa união apresentou desafio para sua realização já que materiais diferentes apresentam propriedades mecânicas diferentes, sendo as diferenças entre o coeficiente de condutividade térmica e as temperaturas de fusão fatores complexos do processo. A soldagem a fricção não provoca a fusão dos materiais como discutido anteriormente, entretanto quanto menor for a temperatura de fusão do material mais rapidamente, ou a uma temperatura menor, este entrará em sua condição favorável (menos dúctil) de deformação plástica, porém se materiais diferentes devem ser unidos e um dos mesmos entrar nesta condição primeiramente a união não ocorrerá, mas sim o “mergulhamento” do material mais resistente sobre o mais maleável, como observado na “Fig. 6”.



**Figura 6. Tentativa de solda dissimilar entre alumínio e cobre, (“mergulhamento” do cobre no alumínio)**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

Para a soldagem da liga de cobre com aço SAE1020 os parâmetros ideais de soldagem para os dois materiais foram próximos. A “Figura 7” mostra a união obtida.



**Figura 7. Solda dissimilar Aço 1020 e cobre**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

### 3.2 Correlação Entre Pressão, Tempo de Soldagem e Zona Termicamente Afetada Pelo Calor

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 pressão 1) foram observadas durante o trabalho. Analisou-se o comportamento do aço 1020 nas soldagens com as seguintes pressões iniciais: 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>, 4,5 kgf/cm<sup>2</sup>, 5 kgf/cm<sup>2</sup> e 6kgf/cm<sup>2</sup>.

Quando se aplicou a pressão de 3,5 kgf/cm<sup>2</sup> pode-se observar um tempo elevado na formação da rebarba e com isso um aumento considerável na zona afetada pelo calor. Com a pressão de 4,5 kgf/cm<sup>2</sup> o tempo para a formação da rebarba e zona afetada pelo calor foi menor. Já com a pressão de 5 kgf/cm<sup>2</sup> um tempo para a formação da rebarba e zona afetada pelo calor foi ainda menor se comparada com as pressões anteriores. Ao imprimir a pressão de 6kgf/cm<sup>2</sup> o motor do dispositivo não suportou a resistência ao movimento. A pressão aplicada está diretamente ligada ao tempo de solda e zona afetada pelo calor, ou seja, quanto maior for a pressão menor será tempo de solda e zona afetada, porém existe um limite ao qual o equipamento resistiu. A “Figura 8” mostra de baixo para cima respectivamente as amostras soldadas para pressão de 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>, 4,5 kgf/cm<sup>2</sup> e 5 kgf/cm<sup>2</sup>.

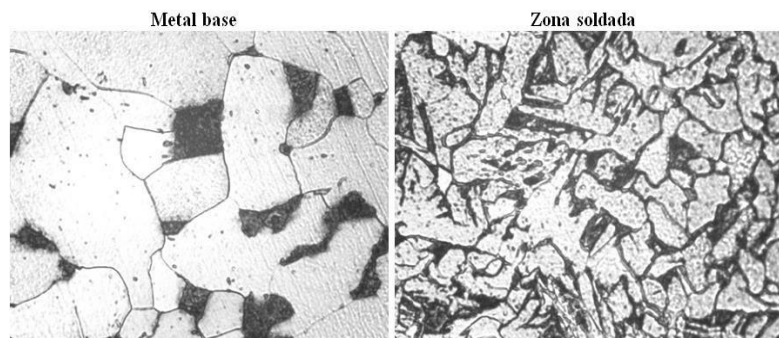


**Figura 8: Amostras soldadas do aço 1020 obtidas com a variação da pressão.**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

## 4. RESULTADOS FINAIS

A “Figura 9” fornece informações sobre a micrografia realizada no corpo de prova do aço 1020. Na imagem do metal base evidencia-se ferrita e perlita em menores quantidades, isto devido ao teor de carbono do aço.

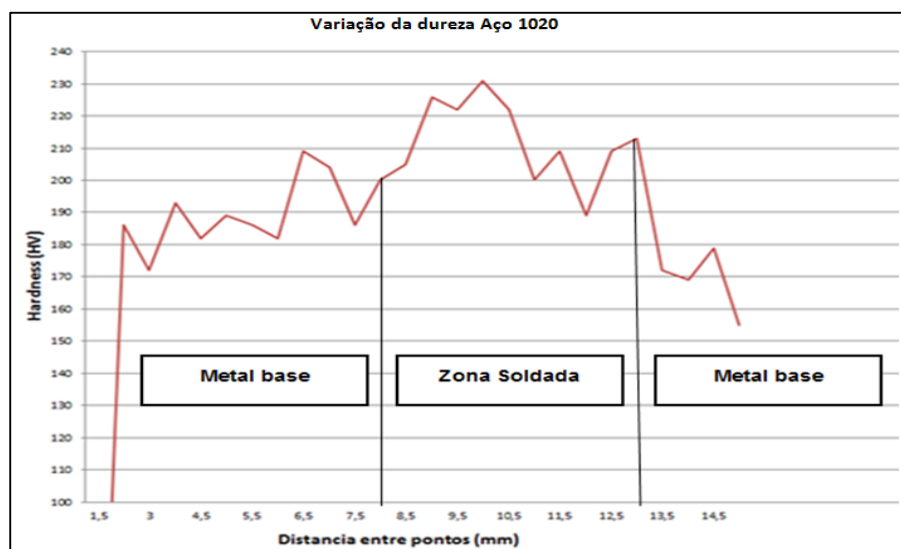


**Figura 9. Micrografia aço SAE 1020 Metal Base e Zona soldada**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

Na zona de solda percebe-se diferença dos grãos de ferrita que não estão com o mesmo aspecto e forma de antes. Quando se realizou a solda houve um aquecimento insuficiente para a fusão do material, mas o suficiente para atingir a temperatura de normalização e pode se verificar o refino de grão, logo uma parcela da ferrita já existente se transformou em austenita isto durante o aquecimento. Após a realização da solda esta austenita deve-se transformar novamente voltando a ser ferrita, porem o resfriamento é muito rápido na soldagem a fricção, este resfriamento rápido produz a variação na morfologia da ferrita que tem um aspecto “serrilhado”.

Para as analise da micrografia e medidas de micro dureza utilizou-se o microdurometro Shimadzu com capacidade de ampliação de ate 400X. Nas amostras de soldas similares com a liga do aço SAE 1020, foram realizados testes de dureza com a carga de 98,07 mN (HV 0,01), time de 20 s, plotou-se o gráfico com os dados obtidos “Fig.10”.

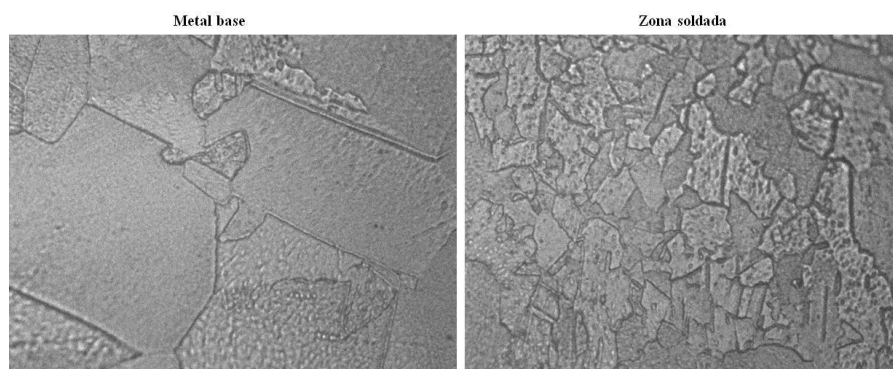


**Figura 10. Variação da dureza entre o metal base e zona soldada do aço 1020**

Fonte: Elaborada pelo autor

No teste de dureza foi realizada varias medidas entre a zona de metal base e a zona soldada, com variações iniciais de 1,5 mm e logo após 1,0 mm para aquisição de mais pontos de análise. A dureza aumentou quanto mais próximo foi da zona soldada, isto é justificável, pois na zona soldada como discutido anteriormente uma parcela da ferrita se transformou em ferrita circular e essa apresenta maior dureza. A dureza atingiu um valor máximo e logo após voltou a cair indicando o início do metal base. Porem a variação de dureza não é muito alta, sendo o valor mais elevado 230 HV e o mais baixo 155 HV.

A “Figura 11” é referente à microestrutura da soldagem do cobre, onde ocorreu um refino de grão na zona soldada. A mesma ampliação foi utilizada e é notável que no metal base os grãos são bem maiores, esse refino provavelmente é resultado da recrystalização, já que na zona soldada uma temperatura elevada é atingida e nesta zona ocorre também elevada deformação, sendo a diferença de energia entre o material deformado e o não deformado a força motriz para produzir uma nova estrutura de grãos (CALLISTER, 2010).



**Figura 11. Micrografia cobre metal base e zona soldada**

Fonte: Elaborada pelo autor

As soldas realizadas progrediram em qualidade e os parâmetros ideais foram alcançados obtendo soldas de qualidade para todas as combinações propostas quanto a materiais e diâmetros testados. Juntas soldadas pela técnica de soldagem a fricção horizontal rotativa apresentam algumas características que permitem definir sua qualidade como a coalescência entre os materiais, ótima resistência da zona soldada verificada por testes de tração e o alinhamento entre as amostras e a rebarba de material.

Todos os materiais das amostras soldadas (Aço SAE1020, alumínio e cobre) apresentaram coalescência que evidenciaram solda de boa resistência. Pode se visualizar na “Fig. 12” um ótimo alinhamento entre as peças soldadas.

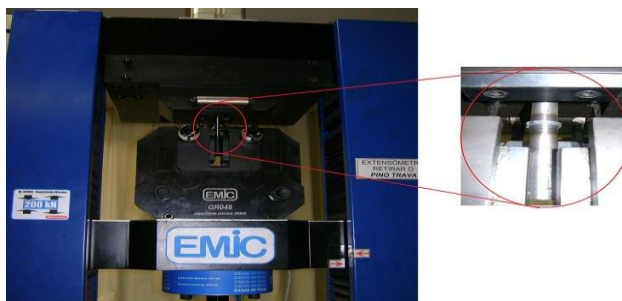
A solda dissimilar entre as ligas de cobre e aço SAE1020 conforme “Fig. 12” deteve as mesmas características das ligas similares um ótimo alinhamento entre as peças. Pode se observar um defeito comum da solda a fricção (BRANDI et al, 1992) uma pequena heterogeneidade na junta soldada (duas marcas escuras), sendo possivelmente necessário uma segunda pressão um pouco maior para ocorrer a total coalescência.



**Figura 12. Solda dissimilar aço 1020 e cobre.**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

Realizou-se o ensaio de tração em juntas soldadas obtidas pela união de amostras de aço 1020 (soldagem similar), sendo este executado em uma prensa servo controlada da EMIC conforme “Fig.13”. Foram feitos os testes de tração em 3 amostras verificando em todas que a ruptura ocorreu no metal de base, evidenciando uma ótima qualidade e propriedade mecânica da junta soldada. A “Figura” 14 representa uma das amostras soldadas testadas quanto à tração após a ruptura.



**Figura 13. Ensaio de tração realizado em amostras soldadas por fricção.**

**Fonte: Elaborada pelo autor**



**Figura 14. Amostra soldada de aço 1020 após sofrer ruptura.**

**Fonte: Elaborada pelo autor**

## 5. CONCLUSÕES

Dentro dos objetivos propostos de avaliar e obter os parâmetros de soldagem pelo processo de soldagem por fricção em um equipamento adaptado, pode-se relatar que foram alcançados quanto a qualidade da solda, soldagem de materiais similares e dissimilares e quanto as propriedades mecânicas encontradas.

A máquina adaptada está apta para a realização da soldagem a fricção está disponível para a comunidade acadêmica da PUC-Minas, esta foi desenvolvida dentro do laboratório da PUC- Minas Campus Contagem. A máquina é capaz de efetuar soldas de ótima qualidade e de distintos materiais seja eles similares ou dissimilares com os devidos parâmetros como descrito neste trabalho, tendo suas limitações como, por exemplo, o diâmetro e o comprimento das peças a serem soldadas. O dispositivo abre uma ampla possibilidade de desenvolvimentos de novos trabalhos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUCMINAS, a coordenação da engenharia mecânica (Prof. Gilmar Cordeiro da Silva) e técnicos do laboratório da PUC-Contagem pelo apoio, e a oportunidade de desenvolvimento desta pesquisa através do programa PROBIC/FAPEMIG.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWS - Norma AWS D1.1/D1.1. 1M:2010.

BRANDI, Sérgio Duarte; WAINER, Emílio; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem**: Processos e Metalurgia, 1992.

CALLISTER JR, William D. **Ciência Engenharia de Materiais**: Uma Introdução. 8. Ed. Editora Ltc, 2010.

LOPEZ, Facundo Sebastián. Montagem e avaliação de uma máquina de solda por fricção. Rio Grande do Sul 2010

MACHADO, Álisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. Ed. Ver. Editora Edgard Blücher Ltda.

Bracarense, Alexandre Queiroz. Processo De Soldagem Por Fricção – FW. Universidade Federal de Minas Gerais. Grupo de Robótica, Soldagem e Simulação.

## WELDING PARAMETERS AND MECHANICAL PROPERTIES OF SIMILAR AND DISSIMILAR ALLOYS UNITED BY FRICTION WELDING

Gilmar Cordeiro Silva<sup>1</sup>, gilmarcord@gmail.com

Leonardo Ferreira de Melo, leo.ferreira94@gmail.com

Leonel Dimas Abreu, leonel@pucminas.com.br

Luiz Carlos Figueiredo, luizfigueiredo@pucminas.br

Victor Maciel Cunha, victormaciel2@hotmail.com

Thaís Roberta, trcampos@pucminas.br

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

**Abstract:** The method called friction welding is intended to joining similar or dissimilar materials pieces by energy generated by the friction therebetween. Unlike the vast majority of welding techniques used in the industry, this method does not require heat external insertion for building of the joint. It is only necessary friction between the parts that you want to connect. In this work, samples of 50mm length and 14mm diameter have been welded through the welding method to the horizontal rotary friction. The equipment used consisted of a conventional lathe fitted with a piston controlled by a hydraulic control unit. During the search the equipment was improved and the optimum welding parameters for meeting them were raised. In addition the mechanical properties of welded samples were analyzed.

**Keywords:** friction welding, similar and dissimilar alloys, mechanical properties, welding parameters.