



ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SOLDAGEM POR FRICÇÃO EM UM TORNO MECÂNICO CONVENCIONAL

Ariel José Quitaiski, aq001177@fahor.com.br
Bruna Santos, bs001340@fahor.com.br
Carlos Henrique Sincak, cs000992@fahor.com.br
Valtair de Jesus Alves, alvesvaltaird@fahor.com.br

FAHOR – Faculdade Horizontina, fahor@fahor.com.br

Resumo: A soldagem é um processo importante na obtenção de uniões de peças na indústria. A soldagem por fricção se processa no estado sólido, as técnicas utilizadas nesse processo estão ganhando destaque, uma vez que possibilitam a produção de juntas soldadas de alta qualidade entre materiais similares e dissimilares. Este trabalho apresenta o referencial teórico e o estudo de caso de soldagem por fricção na união de eixos cilíndricos de aço SAE 1045 aplicados em quatro diferentes rotações em um torno convencional, e posteriormente são dispostos os resultados obtidos através do ensaio a tração e mecanográfico sendo que o corpo de prova que foi aplicado uma rotação de 500 RPM obteve um melhor resultado durante o ensaio tração, comprovando assim que um fator de influência direta na soldagem por fricção é a rotação aplicada para cada tipo de aço empregado.

Palavras-chave: Soldagem Por Fricção; Aço 1045; Resistência à tração; Análise mecanográfica.

1. INTRODUÇÃO

A operação de soldagem é indispensável na realização de uniões de partes de equipamentos e máquinas produzidos pela indústria atual, o que torna esse processo insubstituível em diversas uniões de peças e conjuntos.

Atualmente, com a criação de diversos métodos de união através da soldagem, a utilização dos parâmetros corretos para cada processo e suas respectivas particularidades é de fundamental importância para o sucesso do processo de soldagem, garantindo assim uma união perfeita da junta soldada.

O processo de soldagem por fricção tem ganhado espaço na indústria, sendo aplicado largamente na união de eixos cilíndricos e tubos, proporcionando uma união perfeita e com alto nível de qualidade, sendo esta qualidade o motivo da busca insaciável pela criação de processos com um nível de controle mais acentuado. A solda produzida pelo processo de soldagem por fricção é caracterizada pela ausência da zona de fusão, portanto possui uma estreita zona termicamente afetada.

Para fins de estudo, o presente artigo avalia a resistência atingida pela união de eixos cilíndricos através da soldagem por fricção efetuada em um torno mecânico convencional, buscando assim a averiguação de quais parâmetros proporcionam maior resistência mecânica ao ensaio de tração.

O estudo realizado no presente artigo justifica-se pelo fato de que a análise dos parâmetros adequados para o processo de soldagem por fricção é irrelevante, adquirindo maior importância ao passo que as exigências de qualidade da junta soldada aumentam. É fundamental observarmos que a escolha de parâmetros corretos em todos os processos de união por soldagem implica diretamente no resultado final, ou seja, na qualidade da junta soldada.

Como objetivo principal tem-se a análise da influência do parâmetro de rotação da peça móvel, além do tempo de fricção e da temperatura atingida na junta soldada.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A soldagem por fricção ocorre no estado sólido, sendo que o aquecimento gerado é responsável pela união entre as peças, este aquecimento é gerado mecanicamente através do emprego da rotação de uma peça em relação à outra enquanto é aplicada uma força compressiva entre as faces com a finalidade de se obter a união entre as peças em poucos segundos. Se os parâmetros utilizados para o processo de soldagem por fricção estiverem corretos a solda adquire alta resistência mecânica (NEGRÃO, SILVA, VASSÃO ET AL, 2010).

O processo de soldagem por fricção possui inúmeras vantagens operacionais, apesar de possuir algumas limitações. Porém, este processo recebeu grande atenção nas últimas décadas e vem se destacando em diversas aplicações

industriais, recebendo assim grandes investimentos em novas tecnologias e o consequente aprofundamento dos estudos deste método.

Para Negrão, Silva, Vassão et al, 2010, os defeitos que normalmente ocorrem são causados pela má aplicação das variáveis, assim causando descontinuidade, dessa forma é de suma importância determinar corretamente os parâmetros para que se obtenha os resultados desejados na junta soldada.

2.1. Considerações e Classificação do Processo

No processo de soldagem por fricção rotacional uma peça fixa exerce uma pressão no topo de outra peça que gira em uma velocidade controlada, gerando assim um atrito e consequente aumento de temperatura entre as partes unindo-as após ser cessada a rotação e resfriada a junta. (WAINER et al, 2002)

A temperatura gerada pelo atrito aumenta rapidamente até atingir a temperatura de forjamento, fazendo com que a peça se deforme plasticamente na região da junta e flua devido à força aplicada na peça não girante gerando assim uma rebarba. A rebarba resultante do processo de soldagem normalmente é removida por usinagem, cisalhamento ou esmerilhamento logo após o término da soldagem, porém muitas vezes a rebarba é fortemente aderida e não necessita de posterior remoção (WAINER et al, 2002).

De acordo com Zepeda (2001), o processo de soldagem por fricção é classificado pela American Welding Society (AWS) como um processo de união no estado sólido cuja ligação é produzida em temperaturas menores do que a temperatura de fusão dos metais de base.

Portanto, como a temperatura na junta soldada não proporciona a fusão do metal tem-se assim uma redução da zona afetada pelo calor, gerando assim uma junta com resistência muito próxima a do metal original. A variação da dureza na zona termicamente afetada é muito pequena e sua resistência à fadiga também não é reduzida significativamente, principalmente se o material sofrer algum tipo de tratamento térmico posterior (WAINER et al, 2002).

2.2. Etapas do Processo

Segundo Tsang, o processo se divide em três etapas, sendo fricção, aquecimento e forja. A primeira etapa de fricção (a) se caracteriza pelo aumento do torque após o primeiro contato, logo alcança o pico e diminui antes de estabilizar, marcando o fim dessa etapa. A segunda etapa de aquecimento (b), o torque mantém-se relativamente constante, assim alcança um equilíbrio por deformação e amolecimento devido ao aumento da temperatura que ocorre nessa etapa. Já na etapa de forjamento (c), inicia-se no instante em que o eixo é desacelerado, sendo aumentada a carga axial, o torque aumenta novamente, o pico do torque varia com a desaceleração e a força aplicada (Figura 01).

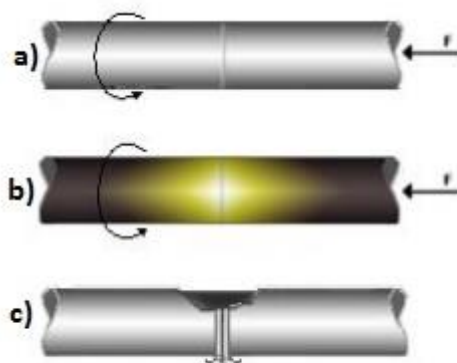


Figura 01. Etapas do processo de soldagem por fricção.

Para obter-se uma boa solda por fricção são necessários dois requisitos: primeiro que os materiais a serem unidos possam ser forjados e o segundo que os materiais gerem fricção na interface da solda. A facilidade com que é realizada a solda por fricção de um metal com ele mesmo está associada ao fato que, o material apresenta as mesmas propriedades, o calor é distribuído uniformemente e as características de deformações são idênticas, o que resulta em uma solda simétrica com boas propriedades (LÓPEZ, 2010).



**4ª Semana Internacional de
Engenharia e Economia FAHOR**
Horizontina - RS - Brasil
5 a 7 de Novembro de 2014



2.3. Parâmetros Relevantes

Segundo a literatura atual é possível encontrarmos variados parâmetros relevantes no processo de soldagem por fricção. É imprescindível conhecermos quais parâmetros são mais importantes, para assim, efetuarmos a correta realização do processo e obtermos os melhores resultados possíveis (AWS, 1989; AWS, 1991; GREWE, 1997; SPINDLER, 1994 apud BRACARENSE).

Dentre os mais relevantes podemos citar:

- A velocidade relativa das superfícies (rotação);
- A pressão (força entre as superfícies);
- O tempo de fricção;
- O deslocamento e sua velocidade;
- A temperatura;
- A natureza do material;
- A presença de filmes na superfície;
- A rigidez e elasticidade das superfícies;
- Tempo de parada;
- A duração da força de forjamento.

Seguindo-se todos os parâmetros descritos é possível o completo controle do processo, porém os primeiros quatro possuem maior relevância e receberão maior atenção durante a realização dos processos experimentais.

2.4. Vantagens e Limitações

O processo de soldagem por fricção possui inúmeras vantagens, porém algumas limitações podem ser percebidas durante a sua realização. Por se tratar de um processo realizado na temperatura de forjamento do metal, sem sua completa fusão, o processo de soldagem por fricção possui mais vantagens do que limitações (ASM, 1993; AWS, 1991; AWS, 1989; AWS 1995; BAESLACK, 1995; BLAKEMORE, 1999; BLAKEMORE, 2000; ELLIS, 1972; LUCAS, 1973; MEYER, 2000; NICHOLAS, 1984; NICHOLAS, 1999 apud BRACARENSE).

2.4.1 Vantagens

- Não se faz necessária a limpeza das superfícies de contato, pois a soldagem por fricção tende a romper e remover filmes da superfície;
- Não requer metal de adição, fluxo ou gás de proteção;
- Não põe em risco a saúde do operados, pois não emite radiação excessiva ou fumaças tóxicas;
- Não ocorrência de defeitos como porosidade ou segregação;
- Possibilita união de metais dissimilares difíceis de serem unidos por outro processo;
- Baixo custo de operação, operação fácil, baixo consumo de energia elétrica;
- Possui facilidade de automação do processo;
- Zona termicamente afetada é praticamente inexistente, pois o processo ocorre no estado sólido;
- Adequado para uso dentro de atmosferas explosivas, sem risco de ignição;
- Não exige habilidades manuais como outros processos de soldagem;
- Na maioria dos casos a resistência obtida é igual ou maior a do metal de base.

2.4.2 Limitações

- A área de pelo menos uma peça deve ser simétrica, de forma que a parte possa girar sobre o eixo do plano de rotação;
- Limitado a juntas de topo, planas ou angulares;
- Material de pelo menos um componente deve ser plasticamente deformável;
- Alinhamento das peças é crítico para o desenvolvimento uniforme do atrito;
- Alto custo de equipamento e custo de ferramentas;
- Ligas usinadas são difíceis de serem soldadas.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS

O material selecionado para a confecção dos corpos de prova foi o aço SAE 1045. Como propósito principal da atividade experimental, tem-se a avaliação dos parâmetros de velocidade e tempo na soldagem por fricção utilizando-se um torno mecânico convencional buscando-se assim atingir a maior qualidade e resistência a tração na junta soldada.

A geometria dos corpos de prova foi estabelecida, sendo esta 50mm de comprimento, com diâmetro de 12,5mm, sendo o mesmo, uma barra cilíndrica de aço SAE 1045.

Após a seleção dos corpos de prova, realizou-se o faceamento e posterior preparação para soldagem como ilustrado na figura 02.

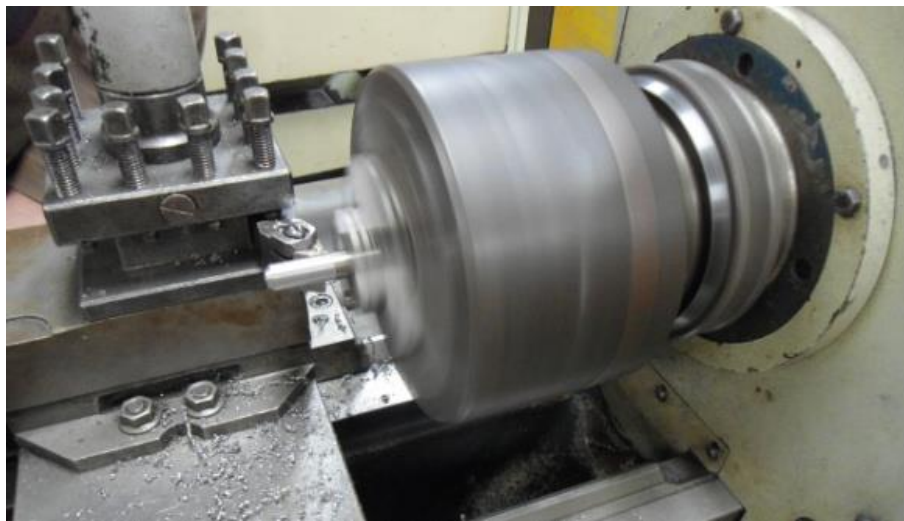


Figura 02. Faceamento e preparação.

Como parâmetros de rotação foram selecionadas 4 velocidades para a realização de 4 testes de soldagem e posterior análise, parâmetros dispostos no Quadro 01.

Quadro 01. Parâmetros de rotação.

Teste	Rotação (rpm)
1	1000
2	630
3	500
4	400

Como máquina-ferramenta, utilizou-se um torno convencional horizontal da marca ROMI, modelo TORMAX 20, que a Instituição de Ensino Faculdade Horizontalina (FAHOR) disponibilizou para realização da experimentação. Esta máquina possui as seguintes características: 12 faixas de velocidades que variam de 80 a 2500rpm e potência do motor de 5cv, além da existência de um freio acionado pelo pé do operador, fator fundamental na parada brusca, necessária durante a realização da soldagem por fricção. Após uma breve avaliação, optou-se pela máquina a qual foram identificadas as menores folgas e posteriormente realizou-se o ajuste, minimizando folgas e obtendo-se assim melhores resultados (Figura 03).



Figura 03. Torno convencional ROMI.

De forma que o material a ser empregado na confecção dos corpos de prova foi um aço carbono SAE 1045, realizou-se uma pesquisa em busca da composição química deste material (Quadro 02), visando assim ampliar o conhecimento acerca do material utilizado nos ensaios realizados neste artigo.

Quadro 02. Composição química do AÇO 1020. Fonte: Gerdau (2003).

AÇO 1045 (composição química de corrida %)	
Carbono (C)	0,43-0,50
Manganês (Mn)	0,60-0,90
Fósforo (P)	0,040
Enxofre (S)	0,050

Ao começarmos os preparativos para o teste, primeiramente, selecionamos um mandril adequado para a fixação do corpo de prova imóvel no contraponto do torno. Posteriormente outro corpo de prova móvel foi fixado na placa do torno seguindo assim a sequência dos testes descritos anteriormente, variando-se a rotação e medindo-se o tempo necessário para a concretização da união em cada faixa de rotação.

A fim de se executar uma análise visual da junção foi selecionado o parâmetro de rotação visualmente mais adequado durante os testes, sendo o mesmo 500rpm (teste 3), repetindo-se o processo através de um quinto teste e cortando-se a peça transversalmente à junta, possibilitando assim posterior análise metalográfica.

Finalmente, os corpos de prova foram propriamente identificados por números já descritos anteriormente e preparados para o ensaio de tração adaptando-se os mesmos para fixação na máquina de ensaio de tração. Para tanto, utilizando-se um coccinete M12 foi confeccionada uma rosca com 25mm de comprimento em uma das extremidades de cada corpo de prova já soldado, na outra extremidade foi unida uma chapa com 6mm de espessura, propriamente confeccionada, através do processo de soldagem MIG/MAG, possibilitando assim a correta fixação da peça na máquina de ensaios de tração. A figura 04 ilustra um dos corpos de prova já preparado para a realização do ensaio de tração.

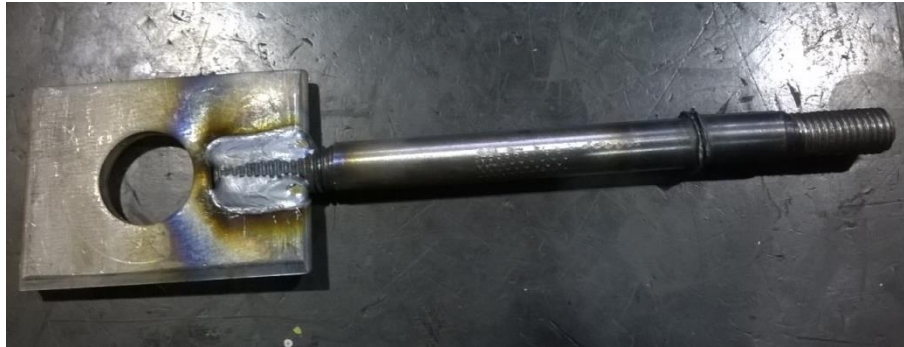


Figura 04. Corpo de prova finalizado.

3.1 Elaboração do corpo de prova para análise metalográfica

Após a realização dos testes práticos, preparou-se o corpo de prova para análise dos resultados obtidos quanto à microestrutura.

Para elaborar o corpo de prova, primeiramente realizou-se o corte da seção a ser analisada e em seguida para o embutimento foi utilizado o laboratório de metalografia, utilizando o embutimento a quente onde a amostra é embutida com o baquelite e utiliza-se pressão e aquecimento para efetuar a polimerização.

Posteriormente o lixamento foi realizado, com finalidade de eliminar riscos e marcas mais profundas da superfície e preparando assim o corpo de prova para o polimento, para este procedimento utilizou-se a seguinte sequência de lixas: 100, 220, 320, 400 e 600. Após a superfície lixada realizou-se o processo de polimento mecânico através de uma politriz com o agente polidor alumina.

O ataque químico permite a identificação dos contornos de grãos, para isso colocou-se o reagente ácido nital 5% em contato com a superfície da peça por 4 segundos através do processo de ataque por imersão, este causou a corrosão da superfície. O exame microscópio possibilitou a verificação da microestrutura da amostra, utilizou-se um zoom de aumento do microscópio em 200 vezes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da execução da atividade experimental anteriormente descrita foi possível a observação e determinação do melhor parâmetro a ser aplicado na execução do processo de soldagem por fricção em um torno mecânico. Observou-se o surgimento de alguns defeitos provenientes de falhas na escolha dos parâmetros e das folgas existentes no torno.

Primeiramente observa-se uma falha existente na solda do corpo de prova utilizado na realização do primeiro teste. A rotação excessiva provocou muito aquecimento na região da junta ocasionando a completa fusão do metal, fator indesejável na realização do processo, o qual deveria ocorrer em uma faixa de temperatura um pouco inferior à temperatura de fusão do metal. A figura 05 demonstra a formação da rebarba irregular devida a fusão do metal no teste 1.



Figura 05. Teste 1 (1000rpm) com formação de rebarba irregular.

A realização do teste 2 mostrou resultados satisfatórios, próximos aos desejados pelo grupo de pesquisa. Observou-se, aparentemente uma boa união na junta soldada e uma formação de rebarba regular em toda a extensão da junta, como mostrado na figura 06.



Figura 06. Teste 2 (630rpm) com formação de rebarba regular.

Durante o terceiro teste observou-se a minimização do desalinhamento provocado pelas folgas existentes no torno proporcionando assim uma união perfeitamente alinhada entre a peça móvel e a fixa. Aparentemente, ocorreu no teste 3 uma perfeita união das partes, além de uma formação regular da rebarba, sendo o mesmo, o melhor resultado obtido (Figura 07).



Figura 07. Teste 3 (500rpm) com alinhamento perfeito.

A realização do teste 4 demorou excessivamente devido ao fato da rotação ser reduzida, minimizando o atrito entre as partes, a união aparentemente não atendeu o padrão de qualidade estabelecido pelo teste 3 (Figura 08).



Figura 08. Teste 4 (400rpm).

Através da análise macrográfica realizada na junta soldada da peça proveniente do quinto teste foi possível uma melhor visualização de quão concreta foi a formação da junção entre as partes, visualmente não se observaram falhas como trincas ou zonas vazias, sendo possível a averiguação mais precisa somente através da análise metalográfica (Figura 09).



Figura 9. Corpo de prova unido e cortado transversalmente.

Os resultados obtidos através do ensaio de tração além do tempo necessário para a concretização da união durante a soldagem, em cada um dos testes realizados, estão dispostos no quadro 03.

Quadro 03. Resultados de tempo e resistência à tração.

Teste	Tempo (segundos)	Resistência à tração obtida na junta (kgf)
1	56	2740
2	105	2804
3	116	5878
4	230	2426
Repetição teste 3 para macrografia e micrografia	117	N/A

Fica evidente a superior qualidade obtida na junta soldada do corpo de prova 3, fato que demonstra diretamente a veracidade das análises visuais anteriormente descritas.

Observando-se a região da fratura (Figura 10), consegue-se verificar falhas provenientes de fatores indesejados durante a execução do processo de soldagem por fricção. É possível observarmos que não houve uma união completa de toda a seção transversal em nenhum dos corpos de prova ensaiados. Acredita-se que esse defeito se deve ao fato de que as folgas existentes no dispositivo de fixação utilizado tenham reduzido o atrito nessas regiões minimizando assim a área de união. Outro fator que influenciou negativamente durante a união foi a aplicação da força compressiva necessária para o forjamento da junta, sendo que a força pode não ter sido aplicada uniformemente e na intensidade adequada em toda a seção.



Figura 10. Ruptura do corpo de prova 3.

Após a realização dos procedimentos de lixamento, polimento e ataque químico no corpo de prova de aço carbono, realizaram-se as análises metalográficas da união. Pode-se observar na amostra a microestrutura do metal, que é classificada como microestrutura granular, e porcentagem de carbono em torno de 0,45% (Figura 11).

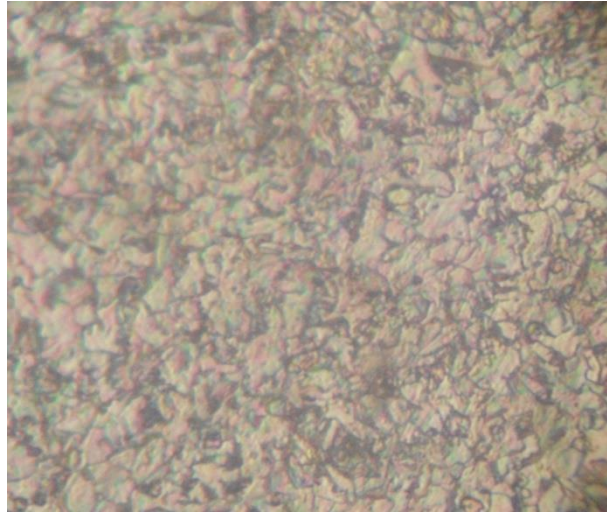


Figura 11. Característica micrográfica do aço SAE 1045.

Observou-se através da análise microscópica da zona afetada pela união um exemplo típico de falta de fusão no centro do corpo de prova (Figura 12), fato ocorrido devido à falta de pressão entre os corpos durante o processo de soldagem por fricção. Tal falha detém grande parte da responsabilidade sobre os resultados obtidos através do ensaio de tração dos corpos de prova, sendo que a zona termicamente afetada pelo calor é praticamente inexistente em materiais que sofrem o processo de união por fricção.

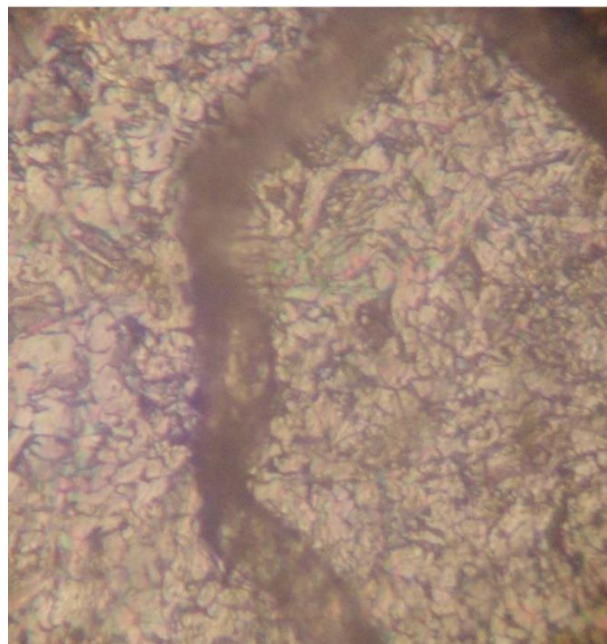


Figura 12. Falha na zona soldada.



**4ª Semana Internacional de
Engenharia e Economia FAHOR**
Horizontina - RS - Brasil
5 a 7 de Novembro de 2014



5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos através da análise dos corpos de prova fica evidente a importância da correta execução durante o processo de soldagem por fricção. Apesar dos problemas enfrentados durante a execução do processo, os resultados mostram-se satisfatórios, garantindo assim a validade do trabalho realizado.

A análise dos resultados obtidos (Quadro 03) demonstra concordância com as características observadas durante a execução dos estudos e dos testes realizados em laboratório. A implantação do processo de soldagem por fricção mostra-se interessante e merece uma investigação aprofundada, visando assim a melhoria contínua dos resultados obtidos.

Apesar dos problemas encontrados pelo grupo de pesquisa, como por exemplo, o desgaste do equipamento contribuiu para as imperfeições na união da solda geradas pela folga da contra ponta do torno. Assim ficando evidente que os resultados do processo de soldagem por fricção cabem principalmente à correta manipulação dos parâmetros envolvidos no mesmo.

Com a análise dos resultados do ensaio de tração, foi possível definir que nosso corpo de prova em que foram observados os melhores parâmetros, também foram os que apresentaram resistência à tração maior.

6. REFERÊNCIAS

- Bracarense, Alexandre Queiroz. Processo De Soldagem Por Fricção – FW. Universidade Federal de Minas Gerais. Grupo de Robótica, Soldagem e Simulação.
- Gerdau. Manual dos aços. Edição atualizada, 2003
- López, Facundo Sebastián. Montagem e avaliação de uma máquina de soda por fricção. 2010. Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-UFRG. Porto Alegre, 2010.
- Negrão, Carlos et al. Soldagem por fricção: Projeto de adaptação do processo em torno mecânico para fins didáticos. São Paulo, 2010.
- Tsang, S. Friction Welding. Disponível em: ASM Handbook, Welding, Brazing and Soldering. United States: ASM International, 1994. v. 6, cap.
- Wainer et al. Soldagem, processos e metalurgia. 3. ed. Edgar Blucher, 2002.
- Zepeda, C. M. The effect of interlayers on dissimilar friction weld properties. 2001. Thesis (Doctor in Applied Science). Graduate Department of Metallurgy & Materials Science, Universidade de Toronto, Canada.

7. RESPONSABILIDADE AUTORMAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE METHOD FOR FRICTION WELDING IN A CONVENTIONAL LATHE MECHANICAL

Ariel José Quitaiski, aq001177@fahor.com.br
Bruna Santos, bs001340@fahor.com.br
Carlos Henrique Sincak, cs000992@fahor.com.br
Valtair de Jesus Alves, alvesvaltaird@fahor.com.br

FAHOR – Faculdade Horizontina, fahor@fahor.com.br

Abstract: *The welding process is important in obtaining couplings parts in the industry. The friction welding takes place in the solid state, the techniques used in this process are gaining importance as they enable the production of high quality welded between similar and dissimilar materials together. This paper presents the theoretical framework and the case study of friction stir welding in the union of cylindrical shafts of steel SAE 1045 applied at four different speeds on a conventional lathe, and are subsequently arranged the results obtained by testing the traction being the body whose proof which a rotation of 500 RPM obtained a better result during the tensile test, thus proving that a factor of direct influence on friction welding is applied for each type of steel used rotation was applied.*

Keywords: *Friction welding; 1045 steel; Tensile strength.*