

União

Fricção linear pode ser boa opção para soldagem de tubos de aço com grande diâmetro

O processo de soldagem por fricção linear foi originalmente desenvolvido para a confecção de uniões no estado sólido em ligas não-ferrosas. Mas a qualidade das juntas obtidas sob alta velocidade vem atraindo a atenção dos processadores de tubos de aço e incentivando o desenvolvimento de novas aplicações na área.

A. A. Gorni

O processo de soldagem por fricção linear foi patenteado em 1991 pelo *The Welding Institute (TWI)*, situado em Cambridge (Inglaterra), para uso em ligas metálicas com baixo ponto de fusão, tais como alumínio, latão e cobre. Trata-se de um processo no estado sólido, no qual uma ferramenta não-consumível gira ao longo da interface entre os dois materiais a serem soldados, conforme mostrado na figura 1. A ferramenta consiste em um pino protuberante que “mergulha” no interior das peças que estão sendo unidas, possuindo ainda um “ombro” concêntrico com maior tamanho, que se mantém sobre a superfície da junta. A superfície côncava do

ombro gera uma mistura de calor de fricção e pressão de forjamento. O aquecimento por fricção gerado pelo ombro e a rotação do pino em contato com o material-base produzem uma região localmente plastificada ao redor da ferramenta, conforme mostrado na figura 2. O material plastificado é deslocado à medida que a ferramenta se move ao longo da junta soldada. É produzida uma união metalúrgica plenamente consolidada em decorrência do calor e

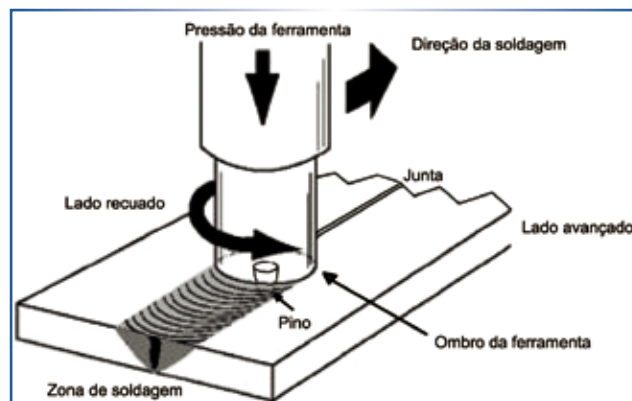


Fig. 1 – Processo de união entre duas chapas usando soldagem por fricção linear⁽⁶⁾

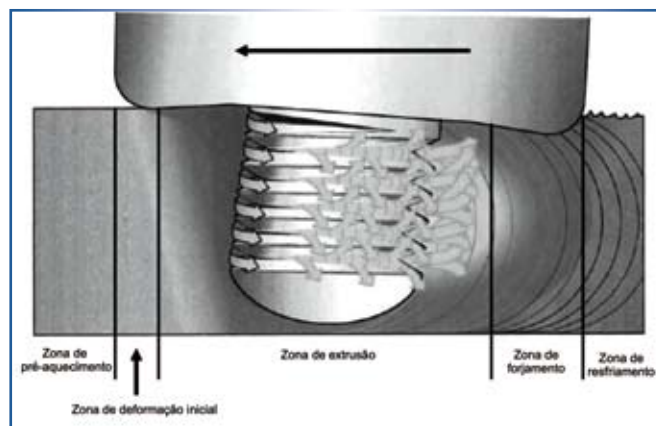


Fig. 2 – Representação do fluxo de material durante a soldagem por fricção linear (Paiva, 2009)

Antonio Augusto Gorni (contato por e-mail: agorni@iron.com.br) é editor técnico da revista *Corte e Conformação de Metais*.

da pressão de forjamento proporcionados pela ferramenta⁽²⁾.

Este novo processo possui diversas vantagens em relação às técnicas convencionais de soldagem. Uma vez que não ocorre a fusão dos materiais envolvidos, é possível obter uma união soldada com qualidade muito alta em decorrência do baixo aporte térmico, o qual também é muito eficiente, já que todo o aquecimento ocorre apenas na interface ferramenta/peças sob união. Isso faz com que a distorção dos componentes seja mínima e que não haja geração de salpicos. O processo também se caracteriza pela ausência de material de adição, proporcionando significativa redução de custos. Também não há geração de fumos, dispensando o uso de máscaras pelos trabalhadores. Tudo isso torna a soldagem por fricção linear altamente eficiente e ecologicamente amigável, facilitando sua plena automação. O menor aporte de energia faz com que a união obtida apresente melhores propriedades mecânicas e resistência à fadiga em relação às confeccionadas pelos processos convencionais, além de acabamento superficial muito liso, com pouca ou nenhuma geração de rebarbas, reduzindo a necessidade de inspeção posterior. O processo ainda possui potencial para unir materiais diferentes, que não podem ser soldados pelos processos convencionais. Ele é completado em poucos segundos e apresenta alto grau de reprodutibilidade^(2,6).

Os parâmetros de processo para a soldagem por fricção linear são a velocidade de deslocamento da ferramenta com respeito ao

material-base, sua velocidade rotacional, seu ângulo em relação à superfície do material e a pressão de forjamento aplicada por ela. Esses parâmetros são governados pela sua geometria (ou seja, pelos diâmetros do ombro e do pino), propriedades mecânicas do material a ser unido (ou seja, resistência à deformação) e por sua espessura.

O lado do cordão produzido pela soldagem por fricção linear, no qual a rotação da ferramenta e a direção de deslocamento encontram-se na mesma direção, é o chamado lado de avanço, enquanto o outro é o lado de recuo. As diferentes condições de processamento produzem microestruturas ligeiramente diferentes nesses dois lados, dependendo do material que está sendo processado, da geometria da ferramenta e dos parâmetros específicos do processo de soldagem por fricção.

A soldagem por fricção linear foi inicialmente limitada a ligas metálicas com baixo ponto de fusão, porque os primeiros materiais usados na confecção da ferramenta não conseguiam suportar as tensões necessárias para “agitar” ligas com maiores pontos de fusão, tais como aços em geral. Posteriormente este problema começou a ser resolvido com a introdução de novos materiais, com dureza mais alta, para a confecção das ferramentas, tais como o nitreto de boro cúbico policristalino (PCBN) e o tungstênio-rênio (W-Re). O uso de suportes de ferramenta refrigerados com líquidos e de sistemas de telemetria refinaram ainda mais o processo e sua capacidade. Isso abriu a possi-

bilidade do uso da soldagem por fricção linear em praticamente todos os campos industriais onde se aplica a soldagem convencional de aços. Os primeiros a serem explorados de forma consistente foram a construção naval e a instalação de tubos com grande diâmetro⁽²⁾.

Contudo, ainda há outros problemas a serem vencidos para que a soldagem por fricção linear seja amplamente utilizada na união dos aços. Em primeiro lugar, é necessário considerar que há numerosas variantes dos processos convencionais que permitem a confecção de uniões soldadas satisfatórias e confiáveis para esse material, o que não estimula o emprego de processos ainda não dominados plenamente. É o caso da tecnologia dos novos materiais para a ferramenta, que ainda é incipiente. É necessário melhorar ainda mais sua resistência ao desgaste e caracterizar plenamente a eventual contaminação do material-base por seus resíduos. As consequências das transformações de fase que acompanham a soldagem por fricção linear ainda não foram estudadas com profundidade suficiente no caso dos aços. Finalmente, a enorme variedade de aços já disponível – e que continua a se expandir – exige um considerável número de experimentos para otimização do processo de soldagem em cada caso específico^(3,6).

Aplicação em tubos de aço com grande diâmetro

O desenvolvimento recente de equipamentos portáteis para a soldagem orbital por fricção

Corte por jato d'água.
Puncionadeiras e
Dobradeiras.
Atendimento
de quem conhece
técnicamente o que
está oferecendo.

MasterMaquinas



Corte
WATERJET



Puncionadeiras



Dobradeiras

CONFIANÇA, QUALIDADE E SOLIDEZ.



Yawei

R. Lutécia, 1979 - São Paulo - SP
Tel.: +55 11 2295-9419

www.mastermaquinas.com
vendas@mastermaquinas.com

União

linear já permite a confecção de uniões circunferenciais em tubos com grande diâmetro sob condições de campo ou em posições complexas. No momento, o processo já está consolidado para a soldagem circunferencial de tubos com até 12,7 mm de espessura, e estão sendo feitos desenvolvimentos para aumentar esse valor para 19 mm⁽²⁾.

O novo processo é potencialmente vantajoso para a instalação de tubos de grande diâmetro, principalmente em termos de sua eficiência energética, pois consome de 60 a 80% menos energia do que os processos convencionais de soldagem por fusão a arco ou a *laser*, o que proporciona significativas reduções de custo. Além disso, a soldagem por fricção linear efetua a união em um único passe, aumentando bastante a produtividade do processo; dessa forma, é necessário dispor de um menor número de estações de soldagem. A maior simplicidade do processo e a menor quantidade de parâmetros a serem controlados facilita sua adoção na soldagem sob condições difíceis. A qualidade da junta soldada pelo novo processo é imune a defeitos de soldagem decorrentes da solidificação de metal, já que a técnica não envolve fusão e nem a incorporação de materiais de adição.

Um problema inerente à soldagem por fricção linear é a presença de um orifício decorrente da extração da ferramenta após a união soldada ter sido concluída.



Fig. 3 – Lingueta para escape posicionada no final da soldagem circunferencial de um tubo⁽⁴⁾

A solução para esse problema em juntas lineares consiste no uso de uma lingueta para escape, que é removida assim que a união é completada. No caso de uniões totalmente circunferenciais, essa lingueta é montada sobre uma porção já unida do tubo, perto do ponto inicial da soldagem e após ela já ter sido iniciada. Ao final do processo, a junta consistirá em um cordão de solda sobreposto no ponto inicial, o qual se move para fora do eixo sobre a lingueta de escape para completar o processo, conforme mostrado na figura 3. Após a união ter sido feita, o conjunto é desencaixado e removido.

Metalurgia das uniões de aços microligados feitas pelo processo de fricção linear

O grande desafio associado à aplicação da soldagem por fricção linear em tubos de grande diâmetro usados na indústria petrolífera está em conciliar resistência mecânica e tenacidade nas uniões soldadas. Na soldagem convencional envolvendo fusão

isso pode ser controlado por meio da composição química da união – que pode ser definida pelo material de adição – e do procedimento de soldagem. Já na soldagem por fricção linear, em que não há incorporação de material de adição, as propriedades corretas da união só podem ser conseguidas pelo processamento termomecânico do material-base⁽³⁾.

A figura 4 (pág. 72) mostra as alterações metalúrgicas que ocorrem no aço durante a união pelo processo de soldagem por fricção linear. À medida que a ferramenta passa pela região, o local considerado passa por três estágios termomecânicos: aquecimento, aquecimento mais deformação e resfriamento. No estágio de aquecimento, a temperatura começa a aumentar antes da chegada da ferramenta devido à condução térmica do calor, que viaja à frente dela. O aumento da temperatura resulta na austenitização desse local e no crescimento dos grãos austeníticos. Contudo, as primeiras experiências indicam que a temperatura máxima alcançada é inferior a 1.200°C. No segundo estágio, quando a ferramenta chega até o local considerado, os grãos se deformam plasticamente, sendo refinados pela recristalização dinâmica. No terceiro estágio, os grãos recristalizados dinamicamente passam por recuperação e recristalização estáticas, e pela subsequente fase de crescimento. Hoje, o grau e o número de vezes em que a recristalização ocorre são desconhecidos, situação que é denotada pelos pontos de interrogação vistos na figura 4. É bastante provável

CORTE DE CHAPAS LASER



**AÇO, AÇO INOX, ALUMÍNIO, ACRÍLICO,
MADEIRA, COURO.**

- Espessura: até 20 mm • Comprimento: até 3.000 mm • Largura: até 1.500 mm
- Qualquer Quantidade • Rapidez, Precisão e Qualidade • Baixo Custo

**Estamos Cadastrando Representantes
em Todo o Brasil**

SERVIÇOS

DOBRadeira

Capacidade: 1350 kn -
Compr. de trabalho 3100mm

PUNÇIONadeira

CNC-TPC 25
Graphics

Capacidade: 22 toneladas; espessura: 6,5mm
Curso em X: 2000mm com reposição infinita, em Y: 1500mm
Cabecote Hidráulico



**EMBREAGENS, FREIOS, LIMITADORES
DE TORQUE, POLIAS VARIADORAS.**



Fabricação e Reforma de Freios e Embreagens:

Eletromagnéticas, Mecânicas, Multidisco, Hidráulicas e Pneumáticas.

- Polias Variadoras de Velocidade, Limitadores de Torque, Discos em Aço, Bronze ou Lona conforme amostra ou desenho.
- Nacionalizamos e desenvolvemos qualquer tipo de peça.

GRANDE ESTOQUE DE PEÇAS NACIONAIS E IMPORTADAS



MIR Indústria e Comércio Ltda.

lasermir@lasermir.com.br / www.lasemir.com.br

PABX 11 2029 7773

União

que a evolução da recristalização seja função do procedimento específico de soldagem adotado. Os grãos recristalizados finalmente se transformam durante o resfriamento que ocorre após a passagem da ferramenta, formando a microestrutura final, constituída de ferrita, bainita e/ou martensita. Ela dependerá da composição química do aço, do seu tamanho de grão e da taxa de resfriamento. Os primeiros resultados experimentais indicam que o tempo necessário para resfriamento entre 800°C e 500°C é da ordem de 11 segundos. Esse intervalo de tempo é comparável com o obtido durante a soldagem convencional manual a arco com aporte térmico de 1,3 kJ/mm. Logo, as transformações metalúrgicas esperadas na soldagem por fricção linear não devem ser muito diferentes das observadas nos processos convencionais. Essa microestrutura, afinal, definirá as propriedades mecânicas da união, em particu-

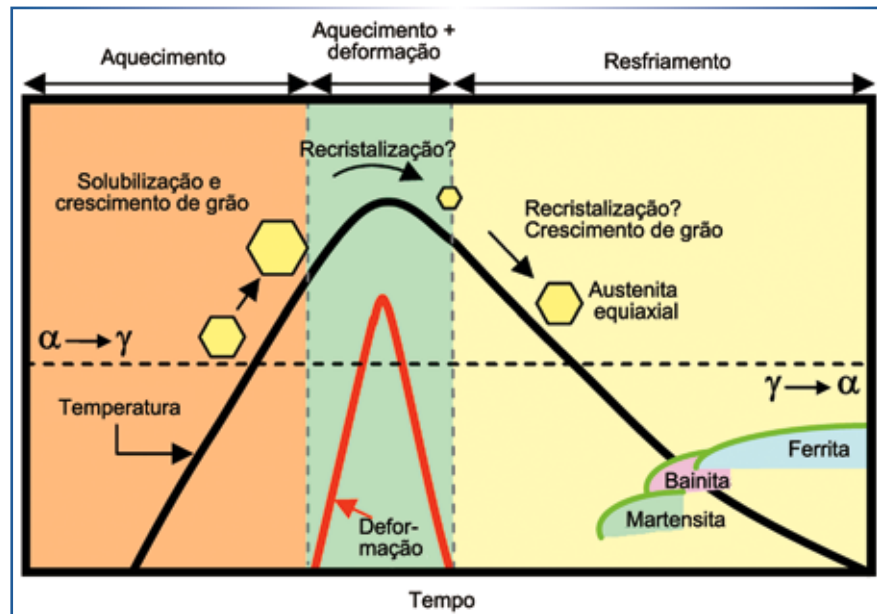


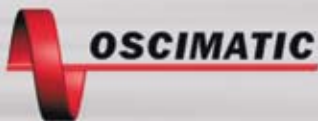
Fig. 4 – Diagrama esquemático da evolução da temperatura e deformação durante o processo de soldagem por fricção linear, juntamente com os mecanismos microestruturais que deverão estar atuando simultaneamente⁽³⁾

lar a sua tenacidade, propriedade crítica no caso dos tubos de aço com grande diâmetro que são usados para a condução de gás e óleo^(3,5).

Os mecanismos metalúrgicos que acabaram de ser citados geram a seção transversal es-

quemática da união soldada por fricção linear vista na figura 5 (pág. 73). Como se pode observar, essa seção transversal está dividida em quatro zonas. A zona termicamente afetada (ZTA) é similar às presentes nas uniões soldadas por processos conven-

AUTOMATIZAÇÃO DE SOLDAGEM



MIG/MAG - Arame Tubular
Comandos na Mão do Soldador

Trator de fixação magnética não requer trilho.

Simula todos os movimentos humanos necessários para soldagem através do mecanismo oscilador.

Visualização dos parâmetros em visor LCD.

Correção dos parâmetros de posicionamento da tocha em tempo real.

Repetibilidade da qualidade da soldagem.

Absoluta Segurança Operacional.



cionais, embora o valor máximo de temperatura que ocorre na soldagem por fricção linear seja significativamente menor do que a temperatura *solidus*, e a fonte de calor seja muito difusa.

Isso pode levar a microestruturas ligeiramente diferentes em comparação com as obtidas nos processos de soldagem envolvendo fusão. A região central do botão de solda, com formato similar a um “anel de cebola”, sofreu o grau mais severo de deformação em decorrência da deposição de material promovida pela ferramenta rosqueada, desde a região frontal da solda até a posterior. A região termomecanicamente

afetada encontra-se entre a ZTA e o botão; os grãos da microestrutura original são retidos nessa região, mas frequentemente em estado deformado⁽⁵⁾.

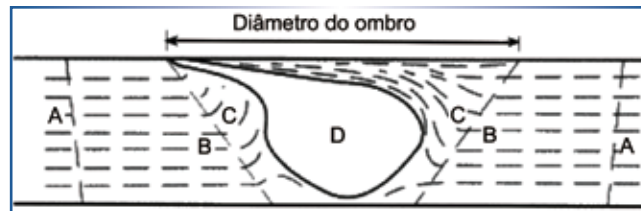


Fig. 5 – Esquema da seção transversal de uma típica união produzida por soldagem por fricção linear, mostrando suas quatro zonas: (a) metal-base; (b) zona termicamente afetada; (c) zona afetada termomecanicamente; (d) zona de agitação (botão de soldagem)⁽⁵⁾.

No novo processo, uma vez que os picos de temperatura alcançados são muito menores do que os observados durante as soldagens a arco, a parcela

da ZTA que se torna plenamente austenítica apresentará menores dimensões e possuirá menor tamanho de grão. Isso leva à redução da temperabilidade do aço e evita a formação de martensita não-revenida, uma transformação indesejável neste caso. Este fato sinaliza a possibilidade de uso do processo de soldagem por fricção linear em aços com maiores valores de carbono equivalente.

De toda forma, a microestrutura na região da união obtida por soldagem por fricção linear em aços ferríticos ainda não está plenamente caracterizada, o que leva a resultados

Transforme sua máquina de corte térmico em uma Messer



Messer Cutting Systems do Brasil
Av. Juvenal Arantes, 2500
Condomínio Industrial Bracaiúva
Jundiaí - São Paulo

+55 11 4525 6680
info@messer-cs.com.br
www.messer-cs.com.br

Part of the Messer World

MESSER
Cutting Systems

Corte com jato de água é

Flow

Mais precisão,
versatilidade e rapidez.

dynamic

Sem Dynamic Waterjet



Com Dynamic Waterjet



Flow Latino Americana - Equipamentos, Peças e Assistência Técnica
A Flow possui a solução que você precisa em jato de água. Comprove!
(11) 3616-2820 - flowlatino@flowlatino.com - www.flowlatino.com

União

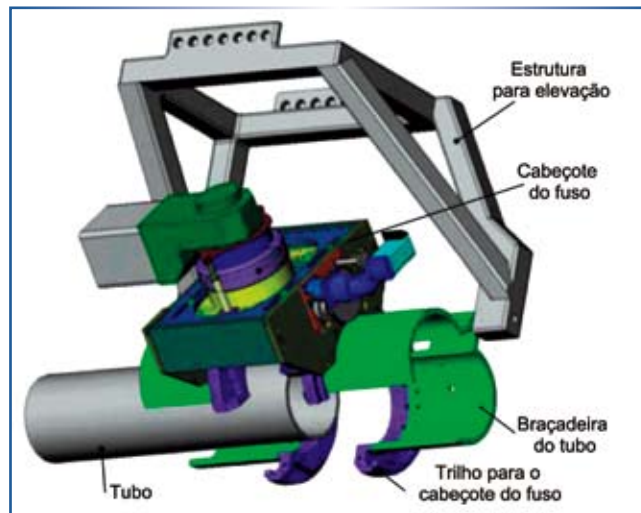


Fig. 6 – Equipamento para execução de soldagem circunferencial de tubos pelo processo de fricção linear⁽⁴⁾

inconsistentes. Há registros de resultados excelentes de tenacidade das juntas feitas por esse processo para aços para tubos API graus X65, X80 e X100, e também L80, mas o contrário também foi observado em outras ocasiões. Portanto, ainda há muito trabalho a ser feito para correlacionar as condições do processo de soldagem por fricção linear e a composição química do aço com as propriedades mecânicas das juntas obtidas, especialmente em termos de tenacidade^(2,3).

Experiências práticas

A empresa MegaStir Technologies, em associação com o Laboratório Nacional de Oak Ridge, do Departamento de Energia do governo dos Estados Unidos, efetuou uma experiência em escala industrial envolvendo a soldagem circunferencial de tubos do tipo API X65 usando o processo por fricção linear. Esses tubos foram feitos com aço microligado ao nióbio, tendo limite de escoamento de 460 MPa, limite de resistência de 530 MPa e alongamento total de 33%. Ele tinha diâmetro externo igual a 324 mm e espessura de parede de 6,35 mm⁽⁴⁾.

A soldagem circunferencial por fricção linear foi realizada com uso de uma ferramenta feita com nitreto de boro cúbico policristalino (PCBN), com diâmetro de ombro de 25,4 mm

CONJUNTO PARA CORTE-EMENDA DO TOPO DE BOBINAS DE AÇO

Equipamento semi-automático próprio para emendar com solda tipo TIG o início e fim de bobinas de aço em linhas de produção contínua de tubos e perfis.

CAPACIDADE
espessura max = 3mm
largura max = 350mm



Wimaq

Rua Igapó, 37 - Sarandi - Porto Alegre - RS
CEP: 91130-410 - Tel/Fax: (0XX51)33645280
http://www.wimaq.com.br
e-mail: wimaq@wimaq.com.br



Fig. 7 – Aspecto final do cordão de solda circunferencial feito pelo processo de fricção linear em tubo grau API X65⁽⁴⁾

e pino com comprimento de 5,6 mm. A junta foi de topo e quadrada, sem preparação especial da ranhura, cuja superfície foi retificada antes da soldagem. Foi aplicado um único passe com penetração plena a partir da superfície externa. A velocidade de rotação da ferramenta variou entre 500 e 600 rpm, a velocidade de avanço oscilou entre 100 e 150 mm/min e a força de forjamento foi igual a 2.950 kgf. Foi usada uma lingueta de saída para eliminar o orifício de saída do tubo. Providenciou-se a liberação de argônio nas proximidades da ferramenta durante o procedimento de soldagem para evitar a oxidação da união soldada.

A figura 6 (pág. 74) mostra o equipamento usado para executar a soldagem circunferencial, originalmente concebido para uso em campo, enquanto a figura 7 mostra o aspecto da junta final obtida. Ensaios de tração cruzada efetuados no cordão de solda, de acordo com a norma API 1104, apresentaram um valor médio de limite de resistência de 538 MPa. A fratura, do tipo dúctil, sempre ocorreu no metal-base, fora, portanto, da união soldada e da zona termicamente afetada. As curvas de transição dúctil-frágil, determinadas para o metal-base, zona termicamente afetada e união soldada, podem ser vistas na figura 8 (pág. 76). Elas foram levantadas a partir de resultados de energia absorvida durante o ensaio de

Sabe aquela máquina que você estava procurando? AQUI VOCÊ ENCONTRA

PRESA EXCÊNTRICA EIXO FRONTAL SÉRIE ANDRÔMEDA De 25 à 500 Toneladas

- Com CLP
- Cortina de Luz
- Almofada Pneumática



PRESA EXCÊNTRICA EIXO LATERAL SÉRIE PFF-2 De 25 à 200 Toneladas

- Freio Fricção
- Eixo Transversal Engrenado
- Sistema de Segurança por Disco de Ruptura

GUILHOTINA DE CHAPAS SÉRIE BETA De 4 à 25mm

- Contador de Golpes
- Batente Traseiro Motorizado
- Feixe de Luz para Alinhamento



PRESA DOBRADEIRA SÉRIE ALFA De 40 à 320 Toneladas

- Batente Traseiro Motorizado
- Jogo de Ferramentas em Aço Temperado
- Dispositivo Suíço para Controle da Flecha

CALANDRA HIDRÁULICA INICIAL SÉRIE RMI De 6 à 50mm

- Aperto Motorizado
- Alta Produtividade
- CLP para Programação



Sua Necessidade, Nosso Compromisso!

Ligue (11) 3019-4444 ou acesse:

www.vegamaquinas.com.br

contato@vegamaquinas.com.br

Rua Piratininga, 812 - Brás
São Paulo/SP

União

resistência ao impacto Charpy, de acordo com a norma ASTM E23. Foram usados corpos de prova *sub-size* (10 x 5 x 50 mm) em razão da pequena espessura de parede do tubo. Como se pode observar, neste caso específico a tenacidade da união soldada e da ZTA foi maior do que a obtida no metal-base ao longo de toda a faixa de temperaturas pesquisada.

Todas as fraturas observadas foram do tipo dúctil.

Apesar de o trabalho mostrar evidências de falha na face raiz do cordão de solda, com dimensões relativamente pequenas (0,15 mm) e com a presença de camada de óxido, as conclusões finais desse trabalho foram muito favoráveis, indicando que o processo de fricção linear poderia produzir uniões circunferenciais plenamente consolidadas em tubos grau API X65, com boa produtividade e propriedades mecânicas adequadas⁽⁴⁾. Por outro lado, um trabalho similar, envolvendo a soldagem circunferencial de um tubo API grau X80, apresentou resultados promissores, ainda que não totalmente adequados do ponto de vista da tenacidade e da presença de defeitos na junta⁽³⁾.

Perspectivas

O processo de soldagem por fricção linear não envolve a fusão localizada das peças a serem unidas, criando uniões no estado sólido. Como requer intenso trabalho de conformação mecânica, o proces-

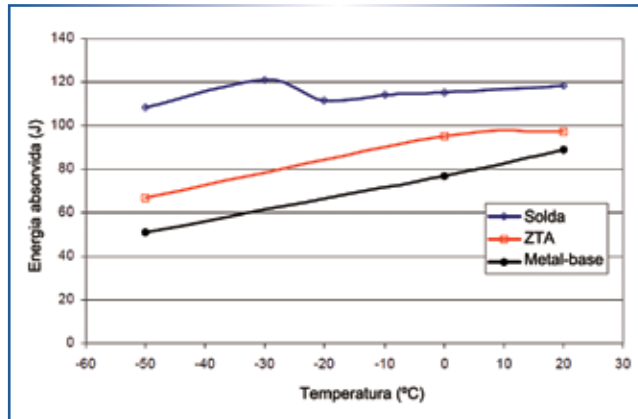


Fig. 8 – Curvas de transição dúctil-frágil determinadas para o metal-base, zona termicamente afetada e união soldada do tubo grau X65 submetido à soldagem circunferencial por fricção linear⁽⁴⁾

so é especialmente adequado para ligas não-ferrosas, que apresentam menor resistência mecânica. Contudo, suas vantagens em termos de qualidade metalúrgica das juntas, alta produtividade e baixa distorção têm incentivado o desenvolvimento de aplicações envolvendo aços, especialmente nas áreas naval e em tubos de grande diâmetro. Embora os primeiros resultados tenham sido promissores, ainda há um longo caminho para a consolidação industrial plena do processo, particularmente em aplicações que requerem níveis de tenacidade excepcionais obtidos de forma consistente, como é o caso dos tubos de grande diâmetro para a indústria petrolífera. As ferramentas ainda precisam ser aperfeiçoadas, uma vez que elas são extremamente solicitadas durante a soldagem dos aços, mas precisam assegurar altos níveis de produtividade e qualidade na junta obtida. Até o momento não foram desenvolvidas ferramentas que possam ser reutilizadas e que apresentem desempenho consistente.

Foram propostos processos híbridos de soldagem por fricção

linear, com aquecimento auxiliar externo. Isso alivia as solicitações sobre a ferramenta, mas aumenta os custos do processo. Outra possível saída seriam ferramentas consumidas de forma lenta e com o material liberado participando de forma ativa no processo de soldagem. Também ainda está por ser realizado um trabalho pleno de caracterização metalúrgica para se entender plenamente o efeito do processo sobre a formação da microestrutura da junta e as suas consequentes propriedades mecânicas⁽¹⁾.

Referências

- 1) BHADSHIA, H.K.D.H. Critical Assessment: Friction Stir Welding of Steels. In: *Science and Technology of Welding and Joining*, 14:3, 2009, p. 193-196.
- 2) DE FALCO & STEEL, R. Friction Stir Process Now Welds Steel Pipe. In: *Welding Journal*, 88:5, May 2009, p. 44-48.
- 3) FAIRCHILD, D. e outros. Research Concerning the Friction Stir Welding of Linepipe Steels. In: *8th International Conference on Trends in Welding Research*. Proceedings. ASM International, Pine Mountain, 2008, p. 371-380.
- 4) FENG, Z. e outros. Friction Stir Welding of API Grade X65 Steel Pipes. In: *86th Annual Convention of the American Welding Society*. Proceedings. Dallas, 2005, 22 p.
- 5) NANDAN, R. e outros. Recent Advances in Friction Stir Welding – Process, Weldment Structure and Properties. In: *Progress in Materials Science*, v. 53, 2008, p. 980-1023.
- 6) RAJ, K.H. e outros. Experimental Studies of Friction Stir Welding Process. In: *International Journal of Engineering Studies*, v. 2:3, 2010, p. 279-88.

