



8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA

Cusco, 23 a 25 de Outubro de 2007

QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM ORBITAL DE DUTOS UTILIZANDO ROBÔ DEDICADO DE 4 GRAUS DE LIBERDADE

Ivanilza Felizardo*, Alexandre Queiroz Bracarense °, Hernandes Coutinho Fagundes *, Flaviano Lopes Pereira *

* Rotech Tecnologia Robótica Ltda, Avenida Henfil, 535, Serrano, 30120-070, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, ° Laboratório de Soldagem Robótica e Simulação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, 31270-90, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
*ivanilza@rotech.com.br

RESUMO

Esse trabalho discute sobre a qualificação de um procedimento para soldagem orbital de tubulações utilizando sistema robótico.

Os passes de raiz e reforço foram executado com o processo GTAW utilizando o método manual. Os passes de enchimento e acabamento foram executados com o processo FCAW utilizando o sistema robótico.

As normas de projeto no qual o sistema foi qualificado foram a B31.4 para oleodutos em instalações industriais, seguindo a norma de soldagem ASME IX – 2003 Ad. 2005 e em campo seguindo a norma de soldagem API 1104 – 1999 e a B31.3 para refinarias e tubulações em instalações industriais seguindo a norma de soldagem ASME IX – 2003 Ad. 2005.

Testes mecânicos de tração, dobramento, dureza, macrografia, nick break e impacto foram realizados. A qualidade da solda ficou muito acima das expectativas.

O sistema robótico utilizado foi projetado especialmente para soldagem de tubulações e é composto por um controlador que possibilita o controle de todas as atividades relacionadas à soldagem. Este controlador é conectado a uma máquina de solda convencional (processos GMAW e FCAW) e a um manipulador, que se responsabiliza pelo deslocamento da tocha de soldagem ao redor do tubo.

PALAVRAS CHAVES: Sistema Robótico, Soldagem Orbital, Qualificação do procedimento, GMAW, FCAW.

INTRODUÇÃO

A expectativa de ampliação da malha dutoviária no Brasil, nos próximos 3 anos, é para mais de 6.000 Km. Na soldagem de tubulação, dentre todos os processos de soldagem, os mais utilizados são SMAW (Shielded Metal Arc Welding), GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), GMAW (Gas Metal Arc Welding) e FCAW (Flux Cored Arc Welding) [1]. Sendo que o método de aplicação para esses processos pode ser manual, mecanizado ou automatizado. Nas aplicações atuais, o passe de raiz é feito com o processo GTAW, e os passes de enchimento e acabamento com o processo SMAW. Tem-se visto uma tendência de substituição desses processos pelos GMAW e FCAW, respectivamente, buscando aumentar a produtividade do processo de fabricação.

É conhecido que para cada posição de soldagem ao redor do tubo (plana, sobre-cabeça, vertical ascendente e descendente), existe um conjunto ótimo de parâmetros a serem utilizados (corrente, tensão, stick out, ângulo da tocha e velocidade de soldagem). A maneira mais confiável de realizar a variação desses parâmetros durante a soldagem de tubulações é por meio de um processo automatizado. Esse trabalho apresenta a qualificação de um procedimento para soldagem orbital de tubulações utilizando sistema robótico: automatizado.

SISTEMA ROBÓTICO PARA SOLDAGEM ORBITAL DE TUBULAÇÕES

O sistema robótico desenvolvido (Fig. 1) é composto em três partes: controlador, manipulador e máquina de solda. O controlador é responsável por todas as tarefas relacionadas à soldagem e o mesmo controla tanto o manipulador quanto a máquina de solda [2-4].

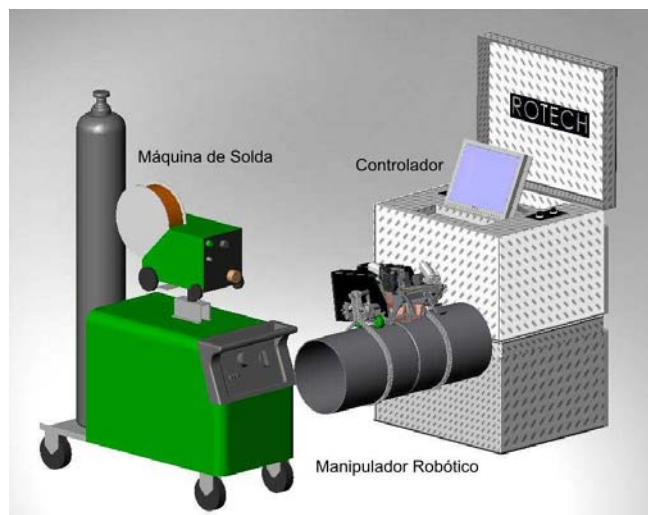


Fig. 1: Sistema robotizado para soldagem orbital de tubulações.

O manipulador foi idealizado para ser compacto, leve, fácil manuseio, transporte e adaptação no tubo. A primeira versão, Fig. 2a, apresentou algumas dificuldades e a mais crítica foi o sistema de fixação do manipulador ao tubo.

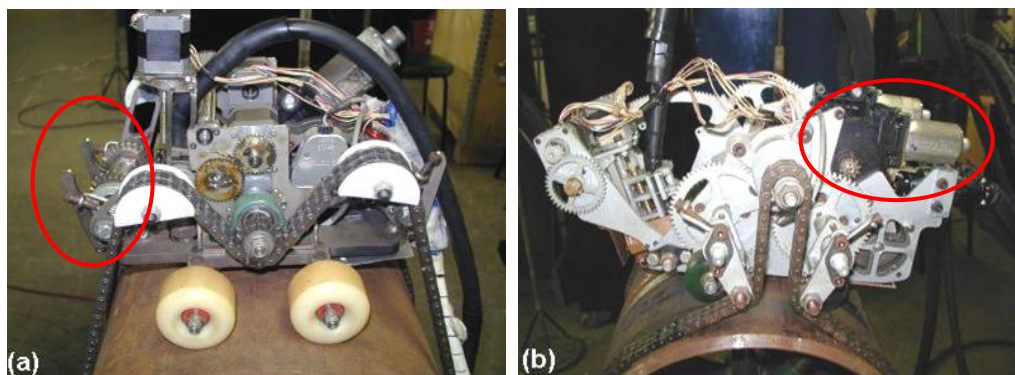


Fig. 2: Primeira e segunda versão do manipulador, destacando o sistema de aperto (a) manual e (b) com motor.

Esse exigia a interferência direta do operador no ajuste, ou seja, na força que o mesmo aplicava no mecanismo de aperto da corrente que envolve o tubo. Como essa força era imposta independentemente nos dois lados do manipulador, o mesmo muitas vezes, ao deslocar ao redor do tubo, desalinava consideravelmente. Foi necessário alterar o aperto da corrente, antes manual, Fig. 2a, para automático, Fig. 2b, sendo auxiliado por um motor de corrente contínua. Já na segunda versão a maior dificuldade observada foi em relação à tocha de soldagem. Primeiro, tinha-se o tamanho da mesma e segundo, o seu peso. Não foi encontrada no mercado nenhuma tocha que atendesse as exigências de projeto: leve, bem pequena e refrigerada a água. Para tanto foi necessário o projetar uma nova tocha. A Fig. 3 apresenta dois modelos de tocha projetada (menor) e encontrada no mercado nacional (comercial). Observa-se que a diferença de tamanho, e conseqüentemente peso, é bastante considerada. Para melhor ainda mais o desempenho do manipulador foi substituído o motor responsável pela movimentação da tocha. Antes motor de passe (segunda versão do manipulador) e atualmente, motor de corrente contínua, Fig. 4 (terceira versão do manipulador).

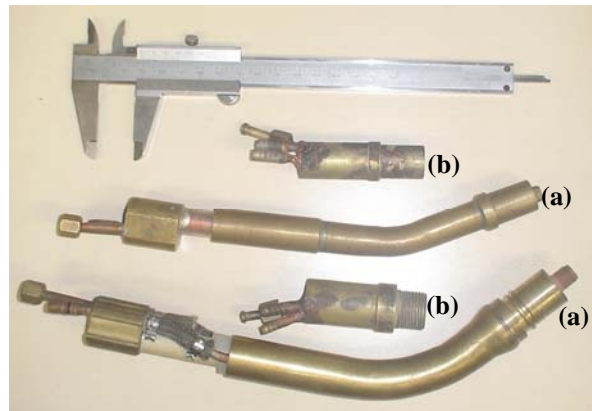


Fig. 3: Tocha de soldagem refrigerada a água: (a) encontrada no mercado e (b) projetada.

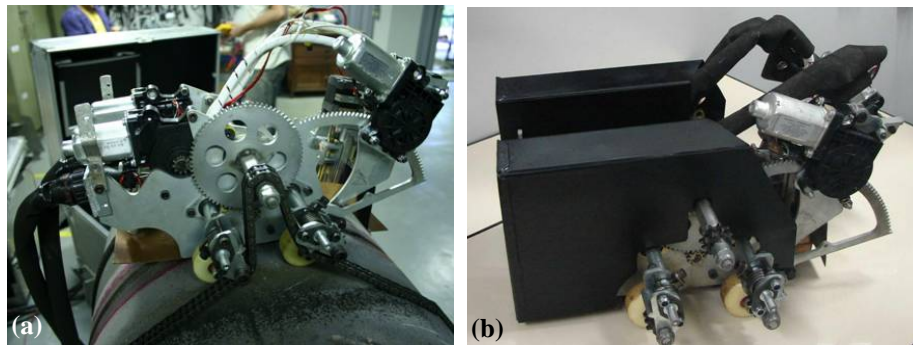


Fig. 4: Versão atual do manipulador: (a) sem capa de proteção (b) com capa de proteção.

Todas as versões do manipulador apresentam quatro graus de liberdade (Fig. 5): movimento ao redor do tubo (translação); movimento do ângulo da tocha (angular); movimento de sobe e desce da tocha para ajustar o stick out (vertical) e movimento para direita e esquerda da tocha para ajustar sua posição sobre o chanfro (lateral). Os movimentos de translação e angular são realizados com auxílio de motor de corrente contínua e os demais com motor de passo.

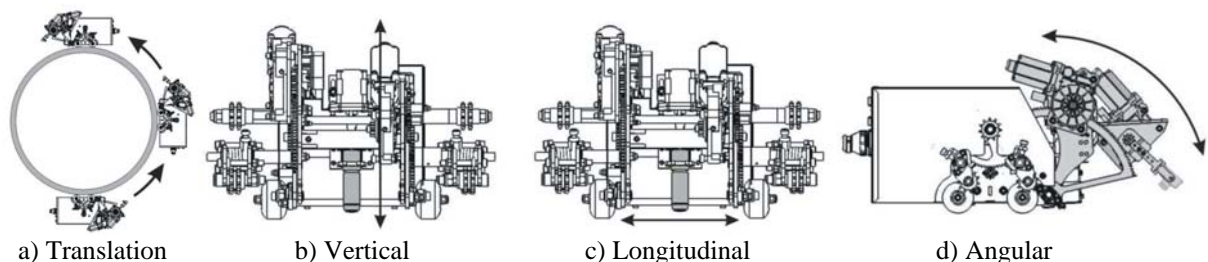


Fig. 5: Graus de liberdade.

Uma placa foi especialmente desenvolvida para realizar a interface entre o controlador e a máquina de solda. Essa foi escolhida para ser do tipo convencional para facilitar seu uso em aplicações em campo. Por meio dessa placa o sistema pode ser considerado robótico [5]. Em outras palavras, todas as tarefas relacionadas à soldagem são automáticas e controladas durante o processo de soldagem sem a interferência humana: movimentação da tocha (vertical, lateral e angular), velocidade de soldagem, corrente e tensão.

O manipulador foi idealizado para ser utilizado em tubos acima de 305 mm (12 polegadas) de diâmetro e, no mínimo, a uma distância de 300 mm entre o tubo e a superfície mais próxima, Fig.6a. Com o objetivo de otimizar o tempo de execução do processo, para tubulações de grandes diâmetros (acima de 46 polegadas) é possível utilizar um par de manipuladores para soldar o mesmo chanfro, Fig. 6b. Assim, quando um manipulador realiza a soldagem na vertical ascendente de um lado do tubo, o outro manipulador pode se movimentar na descendente do outro lado do tubo e se posicionar para iniciar a soldagem.

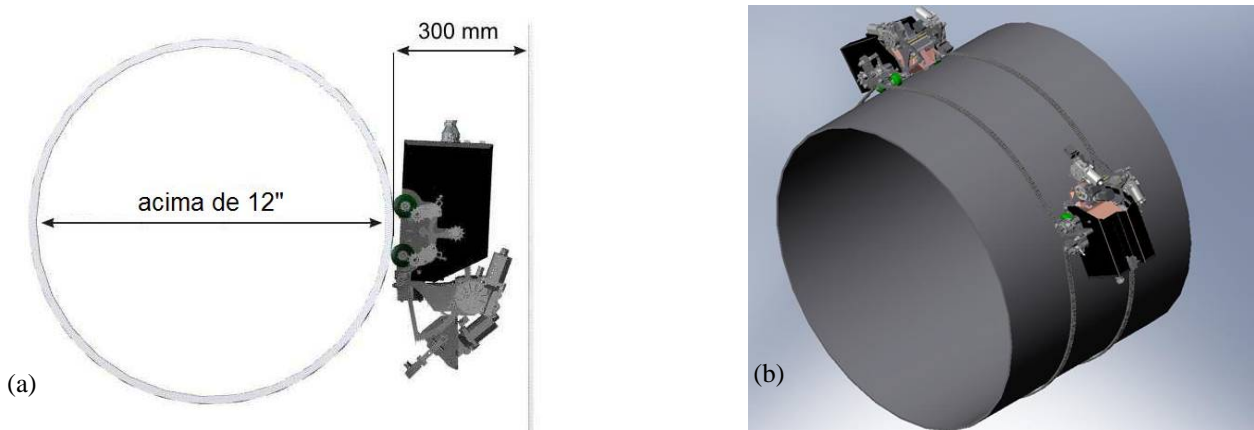


Fig. 6: Simulações da utilização do sistema robótico: (a) dimensão mínima ideal do diâmetro do tubo e da distância entre o mesmo e a superfície mais próxima e (b) utilização de dois manipuladores simultaneamente.

SOLDAGEM ORBITAL DE TUBULAÇÕES UTILIZANDO O SISTEMA ROBÓTICO

A soldagem de tubulações é orbital, pois a tocha movimenta ao redor do tubo enquanto esse fica parado. Nesse procedimento, encontram-se diferentes posições de soldagem: plana, vertical ascendente, sobre-cabeça e vertical descendente. Sendo que para cada posição existe um conjunto ótimo de parâmetros a serem utilizados.

Com o sistema robótico é possível utilizar tanto o processo GMAW quanto o FCAW. Esses são altamente produtivos, visto que a alimentação do arame é contínua. O sistema foi idealizado para realizar todos os passes necessários ao fechamento de uma junta orbital: passe de raiz e de reforço e passes de enchimento e de acabamento, utilizando ambos os processos [6]. O ponto fundamental para executar o passe de raiz com qualidade, com o sistema robótico, é garantir a repetibilidade da preparação do bisel. Infelizmente, da forma como os biseis são preparados atualmente, essa garantia não é obtida. A Fig. 7 mostra a diferença de espessura comum de ser encontrada na altura do nariz do chanfro preparado por equipamentos tradicionalmente encontrado no mercado.

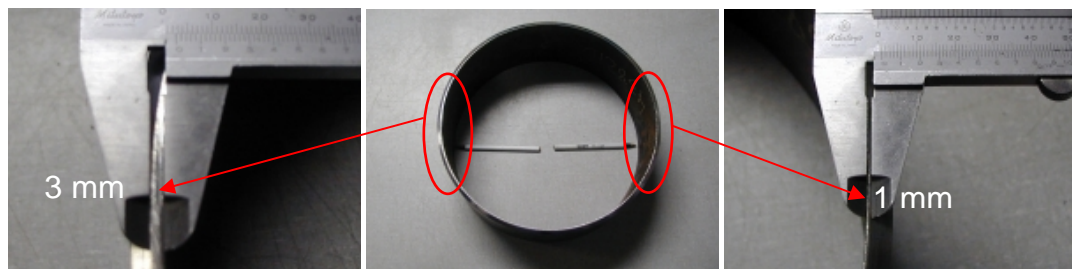


Fig. 7: Diferença de dimensões na altura do nariz.

Em procedimentos manuais o soldador pode corrigir essas diferenças variando a velocidade de soldagem, ângulo da tocha durante o processo, visto que ele enxerga o que está fazendo. O sistema robótico precisa ser programado para realizar essas alterações. Apesar disso ser possível, somente seria viável se o problema fosse repetitivo: se todos

as alturas de nariz de chanfros estivessem o mesmo problema. A alternativa encontrada foi executar o passe de raiz e reforço manualmente e os passes de enchimento e acabamento com o robô. A Fig. 8 apresenta passe de acabamento feito com o sistema robótico. Nessas figuras é possível ver a excelente destacabilidade da escória, demonstrando a alta qualidade de deposição do material de solda.

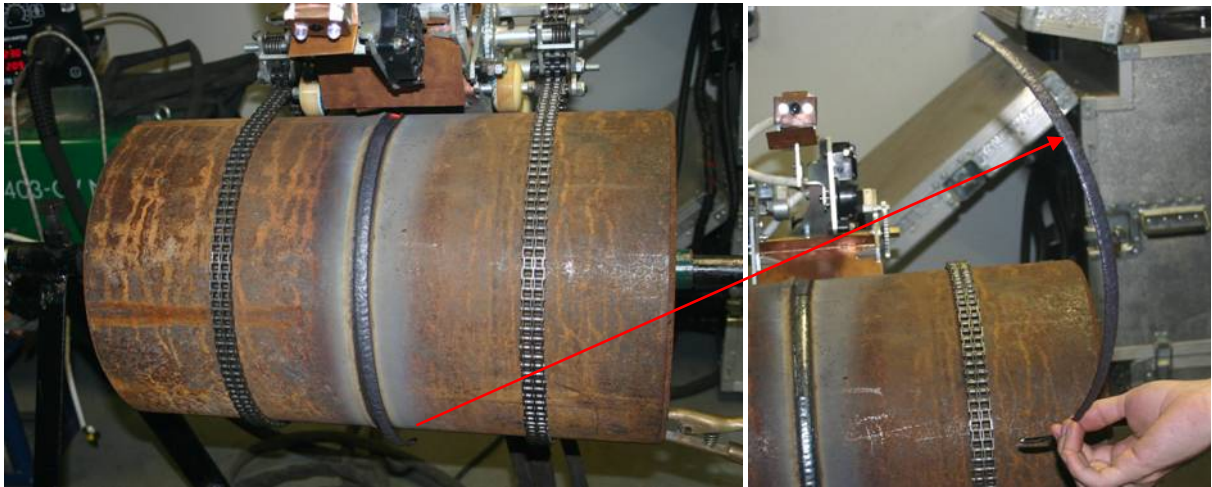


Fig. 8: Passe de enchimento feito com o sistema robótico – detalhe da escória.

QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM ORBITAL ROBOTIZADA

O sistema robótico mostrou-se bastante eficiente: maior qualidade e produtividade que pelo método manual. A qualificação do procedimento foi realizada com tubos de 500 mm (20 polegadas) de diâmetro e espessura de parede de 15 mm.

As normas de projeto utilizadas para a qualificação foram a B31.4 e a B31.3. A primeira foi para atender oleodutos em instalações industriais seguindo a norma ASME IX – 2003 Ad. 2005 e em campo seguindo a norma API 1104 – 1999. A norma de projeto B31.3 é para refinarias e tubulações em instalações industriais seguindo a norma ASME IX – 2003 Ad. 2005.

Os testes mecânicos realizados foram de tração, dobramento, dureza, macrografia e nick break. A Tabela 1 mostra os consumíveis de soldagem e a Tabela 2 os parâmetros utilizados no teste de qualificação do sistema robótico.

Tabela 1: Consumíveis de soldagem.

1. Consumíveis	RAIZ	ENCHIMENTO	ACABAMENTO
Especificação	SFA 5.18	SFA 5.20	SFA 5.20
Classificação	ER 70S-3	E 71T-1	E 71T-1
Diâmetro (mm)	3,18	1,2	1,2
2. Processo	GTAW	FCAW	FCAW
3. Gases	Argônio	Argônio + CO ₂	Argônio + CO ₂
Mistura	99,99%	75% Ar + 25% CO ₂	75% Ar + 25% CO ₂

Tabela 2: Parâmetros de soldagem.

Parâmetros	RAIZ	ENCHIMENTO	ACABAMENTO
Tipo de corrente	Contínua	Contínua	Contínua
Polaridade	Direta	Inversa	Inversa
Voltage (V)	12,0 a 13,5	23,0 a 23,5	23,0 a 23,5
Corrente (A)	130 a 160	165 a 175	160 a 180
Velocidade de soldagem (cm/min)	6,35 a 14,0	29,0 a 31,5	29,5 a 31,5

Testes de tração foram realizados no metal de base sem solda e com solda. O limite de escoamento foi de 347 MPA e o limite à resistência foi de 498 MPA para o metal de base sem solda. A Tabela 3 mostra os resultados do teste de tração realizados no metal de base com solda e a Fig. 9 exemplifica alguns corpos de prova testados. Observa-se que todos os corpos de prova romperam no metal de base fora da região soldada, validando assim os resultados obtidos.

Tabela 3: Teste de tração.

Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Área (mm ²)	Carga (N)	Tensão (MPa)	Posição da Ruptura
T - 01	24.71	14.64	361.75	174.558	482.54	Base Metal
T - 02	25.25	15.39	388.60	170.635	439.10	Base Metal
T - 03	25.00	15.08	377.00	173.578	460.42	Base Metal
T - 04	25.09	15.34	384.88	180.442	468.83	Base Metal



Fig. 9: Teste de tração.

A Tabela 4 e a Fig. 10 apresentam resultados do teste de dobramento. Esse foi do tipo lateral, com diâmetro do cutelo de 38 mm e ângulo de dobramento de 180°; Tem-se que nenhuma descontinuidade foi encontrada nos corpos de prova testados, aprovando-os nesse teste.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes de dureza e a Tabela 6, teste de nick break.

Tabela 4: Teste de dobramento.

Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Descontinuidade	Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Descontinuidade
D - 1	13,04	12,96	NA	D - 5	13,11	12,96	NA
D - 2	13,10	12,90	NA	D - 6	13,21	13,13	NA
D - 3	13,03	12,91	NA	D - 7	13,06	13,04	NA
D - 4	13,00	12,82	NA	D - 8	13,19	13,13	NA

NA: não apresentado



Fig. 10: Teste de dobramento.

Tabela 5: Teste de dureza.

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Linha 1	188	208	212	229	232	244	246	223	214	210	137.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Ponto	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Linha 2	193	214	214	221	260	251	227	262	234	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Dureza Vickers; Carga: 50N

Tabela 6. Nick break.

Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Descontinuidade	Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Descontinuidade
NB - 01	19,59	14,23	NA	NB - 03	19,76	15,20	NA
NB - 02	19,38	14,98	NA	NB - 04	19,08	14,14	NA

Destaca-se que a qualidade da solda foi acima das expectativas. A Fig. 11 apresenta uma macrografia da seção transversal do tubo e a Fig. 12, resultados do teste de nick break. É importante ressaltar que nenhuma amostra do teste de nick break rompeu na região soldada, como o esperado. Após várias tentativas, somente quando resfriou as amostras com nitrogênio líquido que ocorreu a ruptura e pode-se observar a superfície da solda, como é exigido por norma. Conforme apresentado na Fig. 13, nenhuma descontinuidade foi encontrada.

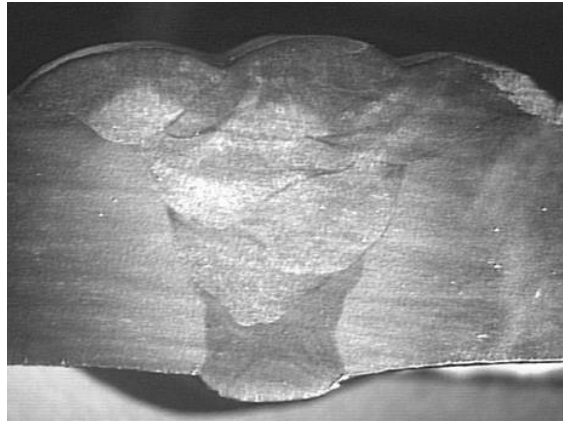


Fig. 11: Macrografia



Fig. 12: Resultados do teste de nick break.

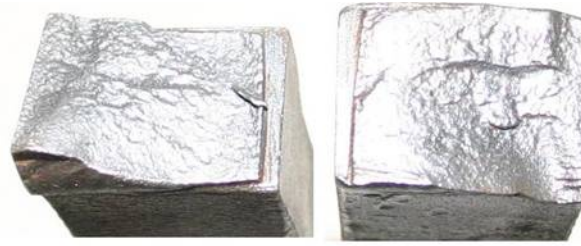


Fig. 13: Seção transversal da amostra rompida por cisalhamento no teste de nick break.

CONCLUSÃO

As principais vantagens com a utilização de um sistema robótico para soldagem orbital de tubulações são:

- Qualidade: o controle dos parâmetros de soldagem durante o processo produz uma maior homogeneidade ao longo de todo o comprimento cordão de solda ao redor do tubo, independente da posição de soldagem;
- Repetibilidade: o robô sempre produz soldas similares, aumentando a repetibilidade do processo;
- Economia: redução do retrabalho através do aumento da qualidade;
- Redução do tempo de trabalho: a possibilidade de otimização dos parâmetros de soldagem (corrente, tensão e velocidade de soldagem, stick-out e ângulo da tocha) permitindo obter soldas de qualidade e a realizações de cordões bastante longo, aumentando o tempo de arco aberto ininterruptamente;

O sistema robótico para soldagem orbital de tubulações mostrou-se bastante produtivo, repetitivo e capaz de produzir soldas de altíssima qualidade, reduzindo o tempo de mão de obra e, principalmente, de retrabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores querem agradecer a Universidade Federal de Minas Gerais pelo suporte técnico e a Service Engenharia e Rotech Tecnologia Robótica pelo suporte financeiro ao projeto de desenvolvimento de um sistema robótico para soldagem orbital de tubulações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. API Standard 1104, "Welding of Pipelines and Related Facilities", American Petroleum Institute, Nineteenth Edition, 1999, pp. 1-70.
2. Bracarense, A.Q., Felizardo, I., Lima II, E.J., Torres, G.F., Ramalho, F. Zanon, G.P, "Sistema Robotizado para Soldagem Orbital de Dutos", Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2004.
3. Lima II, E.J., Torres, G.F., Felizardo, I., Ramalho, F. Bracarense, A.Q., "Development of a Robot for Orbital Welding of Pipes", Musme - The International Symposium On Multibody Systems And Mechatronics, Uberlândia, 2005.
4. Felizardo, I, Bracarense, A.Q., Lima II, E.J., Torres, G.F., Reis, A.T.C, Papatela, P.H.C, "Soldagem Orbital de Dutos Utilizando Robô Dedicado de 4 Graus de Liberdade", Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, México D.F., 2005.
5. Rivin, E, "Mechanical Design of Robots" Mcgraw-Hill Inc., First Edition, New York, 1988.
6. Soraggi, C. C., "Estudo Paramétrico para Robotização da Soldagem Orbital de Tubos com Arame Tubular", Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.