



FATORES A CONSIDERAR NA SELEÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM DE DUTOS

Pedro H. P. Muniz¹, José R. Domingues², John van den Broek³.

Copyright 2007, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Pipeline Conference & Exposition 2007*, realizada no período de 2 a 4 de outubro de 2007, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Pipeline Conference & Exposition 2007*.

Resumo

O transporte dutoviário é a forma mais segura e econômica para movimentação de grandes quantidades de fluidos a longas distâncias. A cada dia, incontáveis quilômetros de tubulações são instalados ao redor do mundo para diversas aplicações. No Brasil, a distribuição de gás natural tem sido a principal atividade responsável pelos inúmeros investimentos na indústria de dutos. A soldagem por arco elétrico é o processo de união mais utilizado na montagem de dutos. Existem diversos processos de soldagem disponíveis para a aplicação, cada um, com características específicas. A etapa de definição deste é de fundamental importância para o desenvolvimento do projeto. Nesta etapa é primordial que as características de cada um e do projeto de implantação do duto sejam bem conhecidas para facilitar a definição do melhor a ser utilizado. Este trabalho tem como objetivo detalhar e avaliar as características dos processos de soldagem mais utilizados na montagem de dutos e relacioná-las com as principais características que influenciam na escolha do processo de soldagem nos projetos de implantação de dutos. Para tal foram realizados estudos comparativos dos processos de soldagem quanto ao seu custo de soldagem, produtividade, eficiência de deposição, ciclo de trabalho, operação, qualificação de mão de obra, repetibilidade, e propriedades mecânicas. Estes foram relacionados às peculiaridades de cada projeto de implementação de dutos (diâmetro do duto, espessuras, tipo de aço, cronograma, topografia e custo de mão de obra), sendo obtido como resultado final uma base de dados para suporte na seleção do melhor processo de soldagem de dutos.

Abstract

The pipeline transportation is the safest and the most economical way to carry large quantities of fluids through long distances. As time goes by, more and more, kilometers of pipeline are installed for various applications around the world. In Brazil, the greatest investments in the pipeline industry has been related to the distribution of natural gas. The arc welding is the most used joining process in the construction of pipelines. There are various welding processes available for the application, each of them, with specific characteristics. The moment of selection of the welding process is of crucial importance for the development of the project. In order to facilitate the selection of the welding process to be used, it is of major importance that the characteristics of each welding process as well as each pipeline implementation project are well known. The aim of this paper is not only to evaluate and provide the detailed information on the characteristics of the most used pipeline welding process but also to relate them to the characteristics of the implementation project that have most significant influence on the welding process selection. In order to make it possible comparative studies of the welding process were made; such studies included evaluation of costs, productivity, deposition efficiency, duty cycle, operation, welder qualification, accuracy, mechanical properties. In addition, such welding process characteristics were related to the peculiarities of each project of pipeline implementation (pipe diameter, wall thickness, pipe grade, timetable, topography and labor cost) providing as final result a data base to support a better selection of the pipeline welding process selection.

¹ Engenheiro Mecânico, Consultor Técnico de Soldagem e Corte – ESAB S/A Indústria e Comércio

² Engenheiro Metalurgista, Gerente Técnico – Consumíveis – ESAB S/A Indústria e Comércio

³ Engenheiro de Aplicações – ESAB A.B.

1. Introdução

Por vários anos os processos de soldagem mais empregados na montagem de tubulações continuam a ser o processo com eletrodos revestidos (*SMAW - Shielded Metal Arc Welding*) celulósicos e básicos, o arco submerso (*SAW - Submerged Arc Welding*), o *GMAW (Gas Metal Arc Welding)* - soldagem com arame sólido com proteção gasosa e o *FCAW (Flux Cored Arc Welding)* – soldagem com arame tubular com e sem proteção gasosa, podendo esses dois últimos serem empregados nas versões semi-automática ou mecanizada.

Em termos de América do Sul, principalmente o Brasil, observa-se uma forte tendência da migração do processo eletrodo revestido celulósico para combinações de processos, tais como *GMAW* e *FCAW* auto protegido ou proteção gasosa em conjunto com eletrodo celulósico na raiz e no passe quente. Apesar do processo *GMAW* mecanizado ser considerado o mais produtivo dos processos de soldagem atualmente, esse ainda é pouco empregado na América do Sul, sendo utilizado em sua maioria a versão semi-automática. Possivelmente este baixo emprego do *GMAW* mecanizado pode estar relacionado a fatores tais como topografia, espessuras e diâmetro de tubos abaixo do limite de viabilidade econômica do processo, logística de distribuição de gases, entre outras. Vale ressaltar que nos países da América do Sul a grande maioria dos projetos é em tubos API 5L X 70, encontrando-se em discussão e realização de projetos pilotos da soldagem de tubos de alta resistência, inicialmente API 5L X 80.

Apesar dos desenvolvimentos dos processos como “Flash-Butt Welding”, “Electron Beam” e Soldagem Laser Nd:YAG para soldagem de dutos, que têm como objetivo obter um aumento significativo em termos de produtividade em relação ao *GMAW* mecanizado, esses não têm apresentado benefícios relevantes para aplicações de construção de dutos, resultando em baixo retorno dos investimento realizados. Frente a este cenário, algumas empresas têm concentrado seus investimentos em desenvolvimento de melhoria de produtividade e redução do índice de reparos dos processos *GMAW* e *FCAW* mecanizados (YAPP, BLACKMAN, 2004).

É importante lembrar que a utilização de aços de alta resistência não se mostra ser mais uma novidade em termos mundiais. A aplicação de tubos do grau API 5LX 80 já se apresentam como operações de rotinas em vários países da Europa e Canadá, existindo uma tendência para o uso de materiais de maior resistência como o API 5L X100 e até X120. Neste sentido, a seleção do processo de soldagem mostra ser de fundamental importância, de forma a obter baixos níveis de hidrogênio difusível e microestrutura adequada (menos sensível a trinca a frio induzida por hidrogênio). Desta forma a aplicação do processo de soldagem com eletrodo revestido celulósico fica limitado, bem como o arco submerso em função do elevado calor aportado. Por outro lado, o processo mecanizado com arame maciço na vertical descendente permite a soldagem em chanfro estreito, em elevada velocidade e baixo calor aportado, possibilitando obter um microestrutura menos sensível a trinca a frio induzida por hidrogênio (WIDGERY, 2002).

Desta forma, para a seleção do processo de soldagem que melhor se ajusta ao projeto de construção de um duto, não existe uma resposta padrão. A escolha do processo dependerá da análise de vários fatores, os quais devem ser levados em consideração para se obter o melhor custo benefício. Os principais fatores a serem avaliados nesta análise são: diâmetro do tubo, espessura da parede do tubo, topografia do terreno, tipo do aço, disponibilidade de soldadores, custo da mão de obra, logística de distribuição dos consumíveis de soldagem e gases, entre outros.

Em termos das etapas no processo de soldagem de tubulações a solda de raiz é a mais crítica, sendo esta a determinante da velocidade de implantação de um novo duto. Os processos de soldagem de enchimento e acabamento devem suprir a velocidade do processo utilizado na raiz, ou seja, de acordo com a velocidade da raiz e o processo selecionado para enchimento e acabamento as estações para estes passes são definidas.

A busca por menor custo e maior produtividade tem disponibilizado várias soluções para soldagem de tubulações. Em termos da soldagem de raiz, o incremento da tecnologia das fontes de soldagem tem tornado o processo *GMAW* um processo confiável para este tipo de aplicação. No entanto, para a viabilidade de implementação destes processos, se mostra necessário trabalhar com juntas com boa preparação, a qual é garantida com o investimento em equipamentos adequados. Para alguns projetos, recentemente, as empresas de montagem de dutos têm questionado tal investimento, no que se refere o custo benefício. Neste sentido a preferência continua a ser o emprego eletrodo revestido celulósico em combinação com processos semi-automáticos ou mecanizados.

Este trabalho se propõe a realizar uma análise em termos de processo de soldagem de dutos, tendo como foco as etapas de enchimento e acabamento, de forma a detalhar e avaliar as características dos processos e relacioná-las com as principais características que influenciam na escolha destes em um projeto de dutos.

2. Processos de Soldagem Utilizados na Montagem de Tubulações

A soldagem por arco elétrico é o processo de união mais utilizado na montagem de tubulações. Existem diversos processos de soldagem disponíveis para a aplicação, cada um, com características específicas. Abaixo, estão descritos os processos mais utilizados na soldagem de tubulações ao redor do mundo.

2.1. Soldagem com Eletrodos Revestidos

Desde 1928, quando a primeira tubulação foi soldada com eletrodo revestido, este continua sendo o processo de soldagem mais empregado na instalação de tubulações. Ainda hoje, apesar da disponibilidade de materiais mais sofisticados e processos mais produtivos e com menor custo, a soldagem com eletrodo revestido permanece como um dos processos de soldagem favoritos. Sua facilidade de uso, capacidade para atingir posições de difícil acesso, a simplicidade dos equipamentos necessários, e o fato de não requerer gás de proteção, são fatores que contribuem para esta escolha.

No que se refere aos tipos de eletrodos revestidos empregados na soldagem de tubulações, estes podem ser celulósicos ou básicos.

Com introdução dos eletrodos celulósicos estes se tornaram os mais utilizados na soldagem de tubulações especialmente devido à possibilidade de solda de qualidade em todas as posições (WIDGERY, 2007). O arco agressivo e a alta penetração são outras razões para a preferência por este tipo de eletrodo, principalmente para soldagem de raiz. A introdução da técnica “Stove Pipe”, soldagem de todos os passes na progressão descendente, em 1933, proporcionou o aumento da produtividade em relação à técnica com progressão ascendente antes utilizada. No entanto, devido ao alto teor de hidrogênio, os eletrodos celulósicos estão normalmente limitados à soldagem de tubos até o API 5L X70, por outro lado, estes são normalmente utilizados para soldagem de raiz e passe quente em tubos API 5L X80 (WIDGERY, 2007).

A limitação da utilização dos eletrodos celulósicos permitiu o desenvolvimento especial, a partir de 1961, dos eletrodos básicos, com baixo teor de hidrogênio, para soldagem de dutos na progressão descendente (WIDGERY, 2007). Os eletrodos básicos apresentam as melhores propriedades mecânicas e metalúrgicas entre todos os eletrodos, destacando-se a tenacidade. No entanto, este tipo de eletrodo é higroscópico, sendo assim, requer ressecagem a temperaturas relativamente altas após algumas horas de contato com a atmosfera. Para aplicação em campo foram desenvolvidas embalagens de pequeno volume de eletrodos a vácuo, que permite a utilização do produto sem a necessidade de ressecagem prévia. Estes são adequados para soldagem de enchimento e acabamento em tubos até API 5L X120.

2.2. Soldagem com Processos Semi-Automáticos

A soldagem semi-automática teve o início da sua utilização em dutos na década de 60. Os primeiros dutos soldados com processo semi-automático utilizaram CO₂ como gás de proteção, devido a pouca eficiência das cabanas da época (BREEZE, CHETCHUTI, 1969). As primeiras aplicações utilizaram arames maciços na progressão descendente permitindo elevadas velocidades e correntes de soldagem. No entanto, esta aplicação apresentou elevada tendência de falta de fusão lateral e entre passes limitando a utilização do processo. Hoje, as modernas fontes de soldagem e a utilização de gases ricos em argônio fazem a soldagem GMAW mais fácil, principalmente na raiz.

Outra variante dos processos semi-automáticos é a soldagem com arames tubulares. Os arames tubulares podem ser de dois tipos, com proteção gasosa externa (FCAW-GS) ou auto protegidos (FCAW-SS). Os arames tubulares com proteção gasosa, normalmente tipo rutílico, são utilizados na soldagem dos passes de enchimento e acabamento de tubulações em substituição ao arames maciços com objetivo de eliminação do risco de falta de fusão. Estes arames são aplicados na progressão ascendente que permite uma maior deposição de material por passe. Esta diferença reduz à quantidade de passes por junta em comparação com os processos na progressão descendente. No entanto, vale ressaltar que estes arames necessitam de um tempo maior de limpeza entre passes em relação ao processo GMAW, que não gera escória.

Os arames tubulares autoprotégidos não necessitam de proteção gasosa externa. Os gases de proteção são gerados pela decomposição, no arco, de alguns dos elementos do fluxo interno do arame. A não necessidade de gases externos viabiliza a utilização deste processo semi-automático em locais remotos. Os arames autoprotégidos também geram escória que deve ser removido antes do passe seguinte. Estes arames são utilizados na progressão descendente com altas velocidades e correntes de soldagem.

Tanto o processo com gás de proteção como o autoprotégido estão cada vez mais substituindo o eletrodo revestido na soldagem dos passes de enchimento e acabamento. Desta forma, é comum encontrar projetos que utilizem procedimentos de soldagem qualificados com eletrodos celulósicos para soldagem da raiz e passe quente e arames tubulares para os passes seguintes.

2.3. Soldagem Mecanizada

A mecanização é a utilização de máquinas operadas pelo homem que auxiliam a execução do trabalho. A mecanização de soldagem de dutos é feita normalmente com sistemas tipo cabeçotes com deslocamento sobre trilho ou cintas. Para soldagem de tubulação são montados dois cabeçotes diametralmente opostos. O controle dos parâmetros de soldagem é feito de forma remota pelos operadores durante a soldagem. A utilização de tecnologia de comunicação digital entre a fonte de soldagem e o cabeçote permite que os parâmetros sejam trocados automaticamente em diferentes posições de soldagem. Os equipamentos mais modernos possuem memória de parâmetros para cada posição e passes que será realizado. Os processos GMAW e FCAW-GS são os processos mais utilizados para este tipo de aplicação. Existem diversos estudos para aumento da produtividade destes sistemas. Sistemas de alta velocidade com múltiplos arames (Tandem GMAW) já estão disponíveis (BLACKMAN, DORLING, HOWARD, 2003).

Em 2001, o processo FCAW-GS mecanizado com arame rutílico na vertical ascendente começou a ser utilizado no Reino Unido na construção de uma linha principal. Alguns anos antes este processo já vinha sendo usado para obras especiais como tie-ins. Hoje, este procedimento tem sido bem aceito na substituição do GMAW mecanizado.

Para soldagem de raiz existem dois conceitos de equipamentos, um com a utilização de cabeçotes externos com acopladeiras com backing de cobre e outro com a utilização acopladeiras internas com múltiplas cabeças de soldagem. O sistema de solda interna esta limitado aos maiores diâmetros de tubulações.

2.4 Soldagem “Double Jointing”

A taxa de progresso em montagem de uma tubulação é igual à taxa de juntas soldadas multiplicada pelo comprimento dos tubos. Onde for possível dobrar o comprimento dos tubos, soldando-os fora da linha de montagem, a velocidade de montagem da linha irá similarmente também duplicar. A possibilidade de dobrar as juntas (“*double jointing*”) depende do acesso no local onde está sendo executado a montagem. Em alguns casos se as condições são favoráveis até juntas triplas podem ser empregadas.

A vantagem do processo de soldagem fora da linha de montagem é a possibilidade de movimentar os tubos, o que permite a soldagem na posição plana, e conseqüentemente o uso de processos de elevada produtividade como o arco submerso.

3. Metodologia

Para a avaliação dos processos de soldagem de dutos foram realizadas as soldagens de corpos de prova com mesmo dimensional, em tubos API 5L X70 de 11,0mm, que tiveram as extremidades preparadas de acordo com a figura 1, com chanfro tipo API.

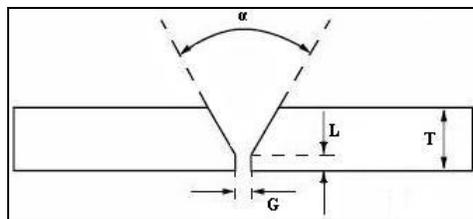


Figura 1: Esquema da junta.

Abertura de Raiz (G) de 1,6mm; Nariz (L) de 1,6mm; e Ângulo do Chanfro (α) de 60° .

Tendo como base o tubo API 5L X70, foram selecionados os diferentes consumíveis e processos adequados para atender os requisitos necessários a qualificação das especificações de procedimento de soldagem conforme API 1104 -1999. Os processos selecionados estão descritos na tabela 1.

Tabela 1: Relação dos Processos e Consumíveis Avaliados

Processo	SMAW	SMAW	FCAW-SS	FCAW-GS	FCAW-GS	GMAW
Classificação AWS	E 8010 G	E 9018 G	E 91T-8 G	E 71T-1	E 71T-1	ER 70S-6
Operação	Manual	Manual	Semi-Automática	Semi-Automática	Mecanizada	Mecanizada
Especificação AWS	A 5.5	A 5.5	A 5.29	A 5.20	A 5.20	A5.18
Bitola (mm)	4,0	4,0	2,0	1,2	1,2	1,0

Para escolha de cada um destes processos foram levadas em consideração aplicações típicas do mercado. Vale ressaltar que para o processo GMAW mecanizado na grande maioria das aplicações a preparação com chanfro estreito é empregada, no entanto, neste trabalho com intuito de facilitar a comparação dos processos foi utilizado o chanfro padrão API.

A avaliação das variáveis dos processos de soldagem de dutos foi feita para os passes de enchimento e acabamento. Os passes de raiz e quente foram realizados em todos os corpos de prova com os mesmos processos e procedimentos. Desta forma, após serem preparados e alinhados os tubos foram soldados conforme a figura 2.

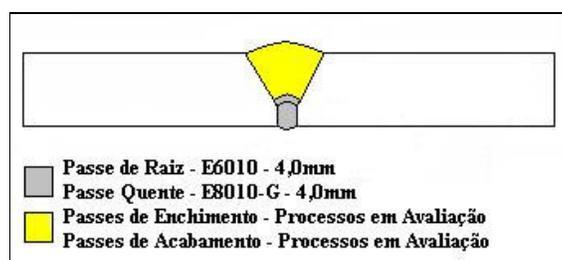


Figura 2: Esquema para avaliação dos processos

A etapa seguinte consistiu na soldagem dos passes de enchimento e acabamento com os diferentes processos em avaliação. Para cada processo foi soldado uma junta tubular por dois soldadores/operadores diametralmente opostos. A operação foi realizada reproduzindo os parâmetros utilizados em campo de forma a garantir dados realistas ao trabalho. O acompanhamento da soldagem foi realizado para o levantamento dos parâmetros utilizados nos diferentes processos. Na Tabela 2, estão os parâmetros utilizados em cada tubo:

Tabela 2: Parâmetros Utilizados.

Processo	SMAW	SMAW	FCAW-SS	FCAW-GS	FCAW-GS	GMAW
Classificação AWS	E 8010 G	E 9018 G	E 91T-8 G	E 71T-1	E 71T-1	ER 70S-6
Operação	Manual	Manual	Semi-Automática	Semi-Automática	Mecanizada	Mecanizada
Posição	5G	5G	5G	5G	5G	5G
Progressão	Descendente	Descendente	Descendente	Ascendente	Ascendente	Descendente
Tipo de Corrente/Polaridade	DC+	DC+	DC-	DC+	DC+	DC+
Corrente (A)	150-210	190-210	220-240	180-210	200-260	180-260
Tensão (V)	30-35	20-22	19-20	24-26	24-26	20-28
Aporte de Calor (KJ/mm)	0,9-1,6	0,8-1,4	0,6-1,3	0,7-1,4	0,7-1,4	0,5-0,9
Stick-Out (mm)	N/A	N/A	10-15	20-25	20-25	12-18
Gás de Proteção	N/A	N/A	N/A	100% CO2	100% CO2	80%Ar/20%CO2

Tendo como base os dados obtidos durante a soldagem dos corpos de provas, foi possível determinar valores em termos do custo de soldagem, produtividade, eficiência do consumível, e ciclo de trabalho. A produtividade foi definida como a relação do comprimento soldado de uma determinada junta pelo tempo. A eficiência de deposição corresponde à relação entre o material depositado na junta e o material utilizado na soldagem e o ciclo de trabalho a relação entre o tempo efetivamente soldado pelo tempo total de solda de uma determinada junta. O custo de soldagem corresponde a uma relação entre os custo do material de adição e mão de obra pelo comprimento soldado de uma determinada junta, não considerando o investimento em equipamento. A base de custos utilizada corresponde ao mercado brasileiro.

4. Resultados e Discussão

Os dados adquiridos durante a soldagem dos corpos de prova permitiu a comparação dos diferentes processos. O Gráfico 1 apresenta a comparação do ciclo de trabalho, a eficiência de deposição, a produtividade, a taxa de deposição e o custo. A fim de facilitar a análise, o custo apresentado neste gráfico representa uma relação percentual de cada processo em relação ao de maior custo.

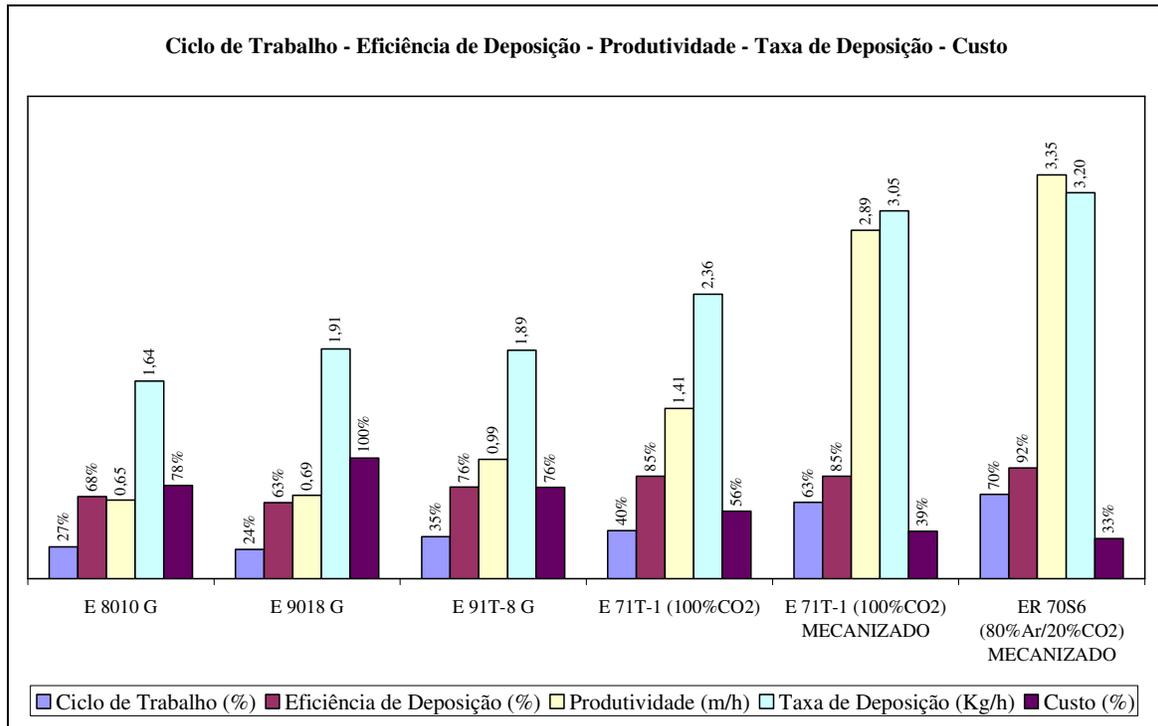


Gráfico 1: Comparativo de Ciclo de Trabalho; Eficiência de Deposição; Produtividade, Taxa de Deposição e Custo. Junta considerada conforme figura 1.

A comparação entre os processos manuais demonstra que ambos possuem valores similares para ciclo de trabalho e eficiência de deposição, com pequena vantagem para o celulósico (SMAW – E8010 G). O processo eletrodo revestido básico para vertical descendente (SMAW - E9018 G) apresentou maior taxa de deposição em relação ao eletrodo revestido celulósico, devido a maior quantidade de pó de ferro no revestimento do eletrodo básico. Por consequência desta maior taxa de deposição, os eletrodos básicos apresentam uma produtividade ligeiramente superior aos eletrodos celulósicos. No entanto, o custo da junta soldada com eletrodo básico é o maior entre os processos avaliados, principalmente pelo baixo ciclo de trabalho característico dos processos manuais e devido ao elevado custo deste consumível.

Os processos semi-automáticos apresentam uma grande vantagem em relação aos processos manuais principalmente devido ao maior ciclo de trabalho. Isto é resultado do menor número de interrupções e tempo de limpeza entre passes. Além disso, a eficiência de deposição também oferece considerável vantagem aos processos semi-automáticos, os quais, apresentam menor perda em relação aos eletrodos revestidos. Entre os processos semi-automáticos com arames tubulares o mais produtivo é o processo com proteção gasosa (FCAW-GS – E71T-1). A maior produtividade deve-se a maior taxa de deposição e ao menor tempo de limpeza entre passes do processo com proteção gasosa em relação ao autoprotetido (FCAW-SS – E91T-8 G). O processo FCAW-SS também tem uma eficiência de deposição inferior ao com proteção gasosa. Desta forma, o processo semi-automático com arame tubular com proteção gasosa apresenta considerável vantagem em relação ao custo da junta soldada em relação ao autoprotetido. É importante salientar que esta análise leva em consideração que a logística e o armazenamento dos gases de proteção não é uma limitação. Caso contrário, o custo de logística dos gases de proteção deve ser considerado no estudo de definição do processo a ser utilizado.

A mecanização dos processos semi-automáticos representa um ganho considerável no custo da junta soldada, devido principalmente ao aumento no ciclo de trabalho e possibilidade de trabalhar com maior intensidade de corrente tanto para o processo FCAW-GS como para o GMAW. A utilização de processos mecanizados na vertical descendente com GMAW apresentou os melhores resultados em todas as variáveis em análise. O ciclo de trabalho mostrou ser superior ao FCAW-GS mecanizado devido ao menor tempo de limpeza entre passes. Por ser um arame maciço este também possui maior eficiência de deposição em relação ao arame tubular. Em razão da soldagem ser realizada na progressão descendente o processo permite a operação com velocidades e correntes de soldagem mais altas, por consequência, taxas de deposição mais elevadas ao processo FCAW-GS. No entanto, a alta velocidade dificulta o controle do operador durante a soldagem e é responsável pela necessidade de um número maior de passes em relação ao processo FCAW-GS que solda na progressão ascendente. A tecnologia dos cabeçotes e das fontes de soldagem permite a utilização de parâmetros otimizados dos parâmetros de soldagem em todas as posições do tubo.

Vale ressaltar que como comentado anteriormente, a soldagem com processo GMAW mecanizado na vertical descendente requer uma preparação da junta especial com bisel em J, de alta precisão. Esta configuração de junta tem como objetivo minimizar a probabilidade da ocorrência de falta de fusão característica neste tipo de aplicação. A necessidade de um chanfro especial requer um tempo maior de preparação em relação aos outros processos avaliados. O custo elevado do equipamento de preparação de chanfro deve ser considerado. A substituição do arame sólido pelo arame tubular com fluxo metálico é uma opção para reduzir a maior tendência à falta de fusão lateral e entre passes que ocorre neste processo. Desta forma, o processo FCAW-GS mecanizado torna-se atrativo devido a maior tolerância na qualidade da preparação da junta e conseqüentemente pelo menor índice de defeitos.

Com relação às propriedades mecânicas é importante lembrar que o processo com eletrodos celulósicos têm sua utilização limitada até tubos API 5L X70, devido ao elevada quantidade de hidrogênio difusível no metal de solda, o qual aumenta o risco de trincas principalmente para aços de maior resistência. Desta forma, mesmo com o custo mais alto entre os processos avaliados a soldagem com eletrodos básicos na vertical descendente é preferível ao processo com eletrodos celulósicos para soldagem de tubos com limite de escoamento maior que 483 MPa onde o processo manual seja preferível. Os processos semi-automático e mecanizados avaliados não possuem limitação de aplicação quanto a resistência do tubo a ser soldado.

A limpeza entre passes é uma operação fundamental para a integridade da junta soldada principalmente para os processos que apresentam geração de escória como SMAW e FCAW. A facilidade da remoção da escória influencia diretamente no ciclo de trabalho de qualquer processo de soldagem. Processos como o FCAW-GS com arame rutílico (Ex: E71T-1) geram escória na maioria das vezes autodestacável o que representa uma vantagem considerável em relação aos processos SMAW com eletrodos celulósicos e básicos, e ao processo FCAW-SS que possuem escória com maior grau de dificuldade em termos de remoção.

Quanto aos processos mecanizados é importante mencionar que estes apresentam uma grande vantagem em relação aos processos manuais e semi-automáticos que é a repetibilidade. Para os processos manuais e semi-automáticos a repetibilidade depende da habilidade e experiência do soldador, enquanto que para os processos mecanizados o operador tem menor influência sobre a integridade da junta. Da mesma forma, os processos manuais são os processos de maior dificuldade de aprendizado o que influencia diretamente no tempo de treinamento e qualificação da mão de obra.

A possibilidade de fazer a soldagem de tubulações menos dependente da habilidade do soldador oferece a perspectiva de baixo índice de defeitos. Este fator combinado com uma alta produtividade e baixo hidrogênio difusível representa uma vantagem significativa para a escolha dos processos mecanizados GMAW e FCAW-GS na soldagem de tubulações. No entanto, esta análise deverá estar atrelada à topografia menos acidentada do terreno que é favorável para soldagem mecanizada.

5. Conclusão

A seleção de um processo de soldagem de tubulações não depende apenas da maior produtividade ou do menor custo de soldagem. A seleção deve considerar as características específicas de cada projeto de implantação de dutos. No entanto, para cada projeto todos os processos devem ser considerados na avaliação.

Os processos manuais continuam sendo preferíveis devido ao baixo nível de investimento inicial, principalmente em locais onde a mão de obra tem baixo custo. Outra razão para utilização dos processos manuais é a grande dificuldade de aceitação de mudanças. Novos processos muitas vezes são implementados rapidamente, com objetivo de aumentar produtividade, sem o devido treinamento e aceitação dos usuários, causando elevados índices de problemas e muitas vezes tornando necessário o retorno aos processos antes utilizados.

A utilização de procedimentos de soldagem que engloba aplicação de mais de um processo é uma excelente opção para redução de custos de produção, ou seja, soldagem de raiz com processos manuais ou semi-automático e enchimento e acabamento com sistemas semi-automáticos ou mecanizados.

Processos mecanizados, mais produtivos, devem ser considerados em projetos com maior volume de solda e/ou cronograma estreitos. Os processos de elevada produtividade só irão alcançar seu máximo rendimento se todo o fluxo de trabalho for otimizado para atender aos elevados requisitos de produção. A dificuldade de encontrar mão de obra qualificada tem feito as construtoras avaliarem a utilização de processos em que o soldador tenha menor responsabilidade pela qualidade da junta soldada. Em termos de futuro, existe uma tendência do processo mecanizado FCAW-GS aumentar sua participação no mercado mundial em substituição do GMAW.

A soldagem double joint continua sendo uma ferramenta útil para o aumento da produtividade, pois reduz pela metade o número de juntas em campo, no entanto, tem utilização limitada em projetos com terrenos mais acidentados.

A utilização de tubos API 5L X80 e superiores torna necessário a utilização de consumíveis com maior controle da quantidade de hidrogênio, maior resistência e tenacidade. Além de requerer um controle maior das variáveis de processo. Neste caso os processos mecanizados apresentam vantagens principalmente no que se refere as excelentes propriedades mecânicas e a elevada repetibilidade.

Com os dados obtidos foi possível ter uma visão comparativa entre os processos de soldagem de dutos. As informações contidas neste trabalho servem como base de dados para seleção do processo a ser utilizado em um determinado projeto. As características de cada projeto devem ser confrontadas com as informações de cada processo para a definição do processo a ser utilizado.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem a ESAB S/A Industria e Comércio pelo suporte e principalmente aos colegas que nos auxiliaram no levantamento dos dados utilizados neste artigo.

8. Referências

- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, API 1104 – 1999.
- BLACKMAN, S. A., An economic assessment of mechanized welding of high-strength line pipe the Australian pipeline industry. Pipes & Pipelines International March – April 2003.
- BLACKMAN, S.A., DORLING, D.V. AND HOWARD, R., “High-speed tandem GMAW for pipeline welding”, International Pipeline Conference 2002, Calgary, October 2003, Paper IPC02-27295
- BREEZE, H., CHETCHUTI, J. “Experiences with CO2 welding of pipelines”, Welding Institute Conference ‘Pipe Welding’, November 1969, 192-200.
- CARUCCI, V. . The mechanised MAG welding of the Clare Natural gas line. Svetsaren No.2, 2002.
- MATTHEWS, G.T., FREEMAN, R.M., MIDDLETON, T. AND WIDGERY, D.J. “Pipeline welding in the '80s”, Second International Conference on Pipewelding, Proceedings, The Welding Institute, 1979, pp 149-159
- WIDGERY, D. J. . Linepipe welding beyond 2000, Svetsaren No. 3 1999.
- WIDGERY, D. J. . Mechanised welding of pipelines, Svetsaren No. 1 2005.
- WIDGERY, D. J., From the Laboratory to field, World Pipelines, 2003 3 (5) 45-47
- WIDGERY, D. J., Pipeline Welding – Back to the Future, IIW, 2007
- YAPP, D BLACKMAN, S. A. Recent developments in high productivity pipeline welding. Journal of the Brazilian Society of Mechanical sciences and Engineering ISSN 1678-5878 – Jan./Mar. 2004