

SISTEMA ADUTOR METROPOLITANO

FABRICAÇÃO DA TUBULAÇÃO DE AÇO

ENG.º OSMAR SEVERINO DE MORAIS

Divisão de Engenharia Econômica da COMASP

1. INTRODUÇÃO

Tubos de aço soldado têm sido amplamente utilizados na condução de água em grosso, desde que convenientemente revestidos interna e externamente.

Nos grandes sistemas, a exemplo do Sistema Adutor Metropolitano (SAM), da Companhia Metropolitana de Água de São Paulo — COMASP, os tubos de aço soldado e revestido, têm se mostrado como dos mais empregados, tanto nas linhas adutoras, de alimentação de reservatórios a partir de um manancial, como nas linhas subadutoras, de alimentação de reservatórios a partir de uma adutora ou mesmo de um outro reservatório; isto devido a fatores de ordem econômica ligado às necessidades crescentes de tubos de grandes diâmetros, para soluções definitivas de grandes demandas.

Este trabalho se propõe a mostrar de uma maneira ampla, quais os cuidados adotados pela COMASP, visando a realização das diversas etapas de especificação, pré-qualificação e fabricação dos tubos de aço soldado para o SAM.

Propõe-se, também a transmitir algumas informações práticas aplicáveis ao caso, as quais poderão ser úteis àqueles que têm problemas semelhantes.

São descritas particularidades sobre as especificações de fabricação de tubos de aço, para condução de água, revestidos interna e externamente com esmalte de alcatrão de hulha, pré-requisitos para a qualificação de fabricantes proponentes aos fornecimentos, necessidades básicas de equipamentos para garantia dos padrões de qualidade exigidos e procedimentos, adotados pela COMASP.

São também dadas informações sobre as atividades desenvolvidas pelos elementos responsáveis pelo diligenciamento e inspeção de fabricação, trabalhos estes aos quais reputamos grande parcela de responsabilidade na consecução dos objetivos alcançados.

2. ELEMENTOS DE ESPECIFICAÇÕES

2.1 — Geral

Ao se elaborar as especificações dos tubos de aço para condução de água em grosso no Sistema Adutor Metropolitano (SAM), partiu-se de estudos básicos elaborados pelo Setor de Planejamento Técnico da Companhia Metropolitana de Água de São Paulo. Estes estudos

determinaram os consumos médios dos municípios circunvizinhos e da própria cidade de São Paulo, integrantes do que se convencionou chamar de "Área Metropolitana".

Outros dados foram também levantados, quais sejam a enumeração dos municípios que seriam integrados ao Sistema Adutor Metropolitano, levando em conta suas situações geográficas, condições topográficas e localização de mananciais de abastecimento, bem como a formação de subsistemas e suas estações de tratamento de água.

Determinaram-se vazões em cada sistema e concluiu-se sobre as previsões de excedentes que adicionadas à vazão do Sistema Cantareira, deu a vazão do Sistema Adutor Metropolitano (SAM).

Com estes dados procedeu-se a um pré-dimensionamento dos diâmetros da tubulação, após definido o sentido de caminhamento preferencial da água, estudando-se as áreas de influência de cada reservatório-chave, do que resultaram as vazões em cada trecho, determinando-se, portanto, a partir destes valores os diâmetros da tubulação, levando-se em conta mais as perdas de carga resultantes do que as condições teóricas de velocidade máxima.

2.2 — Especificações

O Sistema Adutor Metropolitano será formado por tubos com diâmetros que variam de 20 a 84 polegadas e foi adotado o sistema de medida inglês devido à necessidade de uniformização do método de fabricação, uma vez que as especificações básicas seguidas foram as da AWWA (American Water Works Association) com as alterações adaptáveis às condições de fabricação local e às necessidades de controle impostas pela carência de equipamentos na indústria de fabricação de tubos para condução de água.

2.2.1 — Espessuras da parede dos tubos

Existem diferentes critérios para o projeto de um tubo de aço para a condução de água.

Estas diferenças dependem fundamentalmente dos valores adotados como fator de segurança, golpe de ariete, corrosão e proteção contra corrosão, tipos de junta na união dos tubos e classes de trabalho.

Assim, as variáveis de projeto estão na dependência da pré-fixação das condições de instalação dos tubos no campo, o que foi feito como segue:

— Os tubos serão utilizados em linhas de gravidade;

- As condições de operação eliminam a possibilidade de ocorrer o golpe de aríete, ou se ocorrer, este seria suportado, tendo-se em vista que se adotou um fator de segurança de no mínimo dois (2) relativo à tensão de escoamento (σ_e) do material especificado.
- Os tubos serão protegidos interna e externamente de forma a não se permitir a corrosão interna com conseqüente redução da espessura e aumento da rugosidade, nem tampouco a corrosão externa reduzindo a espessura da parede do tubo, o que influiria no momento de inércia da seção resistente (I) ou provocaria a perfuração do tubo em pontos de concentração de tensão ou sujeitos a correntes elétricas parasíticas. Para se minimizar este fenômeno, denominado de corrosão catódica, foi recomendado além do revestimento interno e externo do tubo, um sistema de proteção catódica.
- Os tubos são flexíveis sob ação de cargas externas.
- Considerando as hipóteses acima, procedeu-se ao cálculo das espessuras, tomando-se por base as cargas mortas, adotando-se a fórmula de SPANGLER, como segue:

$$\Delta x = D_1 \frac{KW r^3}{EI + 0.0614 E' r^3}$$

Na qual:

- Δx = Deflexão horizontal do tubo, em polegadas. Considerado como $(0.5 + D/48)$, sendo uma porcentagem do diâmetro do tubo. Isto é baseado numa deflexão de um por cento para um tubo de 24 polegadas e dois por cento para um tubo de 72 polegadas.
- D_1 = Fator de deflexão retardada. Considerando como sendo igual a 1.0, desde que deflexões de longo prazo são amplamente evitadas pela ação de suporte da pressão hidrostática interna.
- K = Constante de assentamento. Considerado como sendo 0.085 baseado num ângulo de assentamento de 150°, embora a instalação do tubo com leito e recobrimento de areia resultará um ângulo de assentamento de 180°.
- W = Carga vertical da vala sobre o tubo, por unidade de comprimento de tubo, em libras por polegadas lineares do tubo.
- r = Raio do tubo, em polegadas.
- E = Módulo de elasticidade do tubo de aço, igual 30.000.000 libras por polegada quadrada.
- I = Momento de inércia da seção transversal da carcaça do tubo de aço, em polegadas à quarta potência por polegada linear do tubo.

E' = Módulo da reação do solo, em libras por polegada quadrada.

Produto do módulo da resistência passiva do recobrimento ao redor e o raio do tubo. Considerando como sendo 700 libras por polegada quadrada.

O cálculo das cargas de recobrimento W . (cargas mortais verticais sobre o tubo) é dado segundo a fórmula de MARSTOM:

$$W = Cd \cdot w \cdot Bd^2 \cdot Bc$$

onde:

Cd = coeficiente de cálculo de carga.

$$Cd = \frac{1 - e^{-2 K'u H/Bd}}{2 K'u}$$

sendo:

e = Base de logaritmos naturais ($e = 2,71828$).

$K'u$ = Produto da razão de pressão lateral de Rankine e o coeficiente de atrito entre o recobrimento e as paredes da vala (0,130).

H = Altura de recobrimento sobre o topo do tubo, em pés.

Bd = Largura da vala, em pés. Considerado como sendo o diâmetro externo do tubo acrescido de 18" polegadas para tubos até 36 polegadas de diâmetro, ou acrescido de 24 polegadas para tubos de diâmetro maior que 36 polegadas.

w = Peso específico do material de recobrimento (carga) = 120 $\frac{\text{pés cúbico}}{\text{libras}}$

Bc = Diâmetro externo do tubo, em pés.

A fim de determinar a espessura da parede solicitada para as diferentes condições de carga de terra, a equação de Spangler foi feita da seguinte maneira:

$$I = \frac{D^3 KW r^3 - 0.0614 E' r^3 \Delta x}{\Delta x E}$$

Esta equação foi em seguida resolvida para os diferentes diâmetros de tubo, para as diversas cargas calculadas pela fórmula de Marston para as diferentes profundidades do recobrimento.

A espessura necessária de parede para carga externa foi então determinada pelos valores calculados de I .

sendo:

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12}$$

onde:

b = 1 (unidade de comprimento do tubo) polegada.

t = espessura em polegadas.

A espessura da parede do tubo necessária para uma pressão hidrostática interna foi calculada por:

$$t = \frac{P \cdot d}{2 \cdot S}$$

onde:

t = Espessura da parede, em polegadas.

P = Pressão de trabalho, em libras por polegada quadrada.

d = Diâmetro externo do tubo, em polegadas.

s = Tensão admissível do material da carcaça do tubo, considerado como sendo 50 por cento da tensão de escoamento permissível do aço, 16.500 libras por polegada quadrada.

A espessura da parede que é a maior das duas calculadas para (1) carga externa sem pressão interna e (2) pressão interna sem carga externa foi utilizada como sendo a espessura de parede mínima necessária. Verificou-se também os cálculos, considerando as cargas vivas, isto é, cargas transmitidas ao tubo numa área concentrada, tal que uma roda de caminhão aplicada na superfície de uma rodovia acima do tubo foi calculada utilizando-se a fórmula de Marston:

$$W_t = \frac{1}{A} I_c C_t T$$

onde:

W_t = Média de carga por unidade de comprimento do tubo (libras por pé linear do tubo).

A = Comprimento de parte do tubo sobre o qual a carga é calculada (pés).

I_c = Fator de impacto para cargas móveis.

C_t = Coeficiente de influência.

T = Carga de superfície, concentrada (libras).

— Classes dos tubos.

As alturas de cobertura, medidas em pés, sobre o topo do tubo, bem como as pressões internas de trabalho, determinadas em função das cotas do tubo e do reservatório, determinam as classes dos tubos em cada diâmetro, bem como as respectivas espessuras de parede, necessárias a suportar as condições de trabalho determinadas em função de projeto.

No quadro abaixo relacionamos as classes de tubos empregadas no SAM.

TUBOS DE DIÂMETRO INTERNO DE Ø — (polegadas)	CLASSE	TUBOS DE DIÂMETRO INTERNO DE Ø — (polegadas)	CLASSE
	100-8		150-8
	100-12		150-12
	100-16		150-16
	100-20		150-20
	125-8		175-8
	125-12		175-12
	125-16		175-16
	125-20		175-20

2.2.2 — Tubos de aço soldado

As especificações de tubos de aço soldado para a condução de água devem determinar que estes sejam eletricamente soldados, com juntas de topo, pelo processo de solda automática a arco submerso, permitindo no entanto a solda semi-automática (Short Arc) em atmosfera gasosa, na execução de pontos de solda ou de um passe de selagem, bem como a solda manual, na execução de pontos de solda ou reparos.

2.2.2.1 — Cilindro

Materials

O aço deve ser do tipo baixo carbono (c ≤ 0,27%), devendo-se limitar também o teor de enxôfre (S) e fósforo (P) a 0,005%.

A tensão de escoamento (σ_e) do aço deve ser tal que atenda as condições de projeto pré-fixadas, tendo sido adotada para os tubos do SAM, σ_e = 2.320 kg/cm².

Fabricação dos tubos

A fabricação dos tubos pode ser feita segundo 2 (dois) processos, clasificados segundo o método de fabricação, a saber:

— Tubos de fabricação contínua (Mill Pipe).

— Tubos fabricados de chapas grossas ou finas, eletricamente soldados, topo a topo (Fabricated Pipe).

Neste trabalho trataremos somente dos tubos fabricados conforme o segundo processo citado acima.

Recomendam-se cuidados nas operações de fabricação, a saber:

— Preparação das bordas;

As bordas devem ser preparadas de forma a permitir a execução da solda de acordo

com o desenho aprovado para a qualificação dos processos de soldagem.

- É necessária a execução da pré-curvatura, exigindo-se que a pressão exercida sobre a chapa seja suficiente para provocar uma deformação permanente segundo uma curva calculada, de modo a formar um perfeito cilindro, após a calandragem.
- As bordas a serem juntadas, deverão ser perfeitamente ajustadas antes de dar os pontos de solda, sendo que o afastamento dependerá do projeto da junta.

Todas as escamas e corpos estranhos que se acumularem nas superfícies das chapas, deverão ser removidas, para não serem calandrados e se incrustarem nas chapas.

Recomenda-se também evitar o ponteamento dos anéis na calandra, o que não só deixa escórias e materiais fundidos sobre os cilindros, como também provoca acúmulo de tensões nas soldas.

Soldagem

— Preparo para soldagem

Antes do início da soldagem as superfícies de todas as chapas deverão ser limpas de escamas ou ferrugem, por esmerilhamento ou lixamento, numa distância nunca inferior a 25 mm de ambas as bordas das chapas a serem soldadas.

Se houver óleo ou graxa nas superfícies, esta distância não deverá ser inferior a 75 mm.

A soldagem só deve ser iniciada se as bordas estiverem perfeitamente ajustadas, mas é recomendável o uso de dispositivos mecânicos para se conseguir esta ajustagem.

Toda escória, carepa ou fluxo de solda existentes, resultantes do ponteamento ou de um passe inicial, deverão ser removidos.

Pontos de solda só serão aceitos, se forem perfeitamente absorvidos pelo cordão de solda.

— Execução da Solda

É importante exigir que qualquer soldagem seja previamente qualificada e esta qualificação deve ser acompanhada por elementos da empresa compradora.

A qualificação dos processos de soldagem e de soldadores deve ser feita de acordo com a seção IX do código "ASME" Parte A — Qualificações de Soldas para Vasos de Pressão, com excessão dos métodos que adotem processos de arco submerso, gás ou eletrodos tubulares, os quais serão qualificados segundo a AWS-SR-1.

Os métodos de soldagem deverão ser submetidos, por escrito, à aprovação da empresa compradora, antes de iniciar qualquer fabricação. Esta providência garantirá que o processo escolhido pelo fabricante, seja realmente compatível com as especificações e normas de fabricação.

Deve-se recomendar que cada camada de solda depositada, seja limpa antes de uma nova camada ser depositada.

As juntas soldadas devem ficar livres de depressões, mordeduras, derramamentos, irregularidades, valetas e os parâmetros de solda, tais como sobre-solda, largura, aspecto visual, porosidade superficial ressaltos descontínuos etc., deverão ser controlados.

A operação de soldagem deve ser controlada, quanto a grau de fusão, amperagem e voltagem do arco.

Além da soldagem por fusão topo a topo, com cordão reto ou helicoidal, foi admitido pela COMASP a execução de outros tipos de soldagem, quais sejam a solda de topo por resistência e solda de topo por indução, embora estas opções não tenham sido adotadas pelo fabricante.

Recomenda-se todos os cuidados possíveis na execução da solda, a fim de evitar defeitos, fusão incompleta, trincas, mordeduras, indusão de escória, derramamento, falta de penetração etc., que levam à rejeição da solda.

É necessário proceder-se ao controle do fluxo, o qual deve estar isento de umidade, partículas de ferro ou outras impurezas, as quais devem ser separadas previamente ao uso.

Nada impede a reutilização do fluxo, que fica em excesso sobre o cordão de solda fundido e que não constitui a carepa, desde que atenda aos cuidados acima mencionados.

Soldas deficientes devem ser removidas e sua remoção pode ser feita por equipamentos mecânicos ou mesmo por carvão (arc air).

O controle das soldas será visual e por testes destrutivos e não destrutivos.

2.2.2.2 — *Revestimento*

Materiais

Os materiais empregados no revestimento dos tubos são:

— Primer tipo B

De secagem rápida, do tipo sintético, constituído de plastificantes de borracha clorada e solventes combinados adequadamente de modo a obter uma solução líquida para aplicação a frio por pincéis ou pistola a ar comprimido.

— Esmalte betuminoso

O esmalte betuminoso indicado para o revestimento é do tipo "Coal Tar Enamel" e de acordo com a norma AWWA C-203-66. O esmalte não deverá conter asfalto, não sendo portanto permitido o seu aquecimento em caldeiras que já aqueceram asfalto. É importante notar que as características físico-químicas do esmalte deverão ser rigidamente controladas, assim como as condições de aplicação, indicadas pelo fabricante.

Destas condições de aplicação, destacamos, a necessidade do controle do material aquecido, onde as temperaturas na caldeira e na calha ou tubo retrátil de aplicação do esmalte, devem ser as especificadas.

É necessário também ter-se um aquecimento homogêneo, o que evitará formação de carvão (coque) na caldeira, fato este que prejudica o comportamento do esmalte, tornando-se sua aplicação impraticável. Devido a formação de nódulo, torna o revestimento quebradiço.

— Lençol de fibra de vidro

Deve-se especificar a fibra de vidro reforçada por fios finos e flexíveis colocados no sentido logitudinal do lençol.

O lençol deve obedecer às normas ASTM n.ºs D 76 e D 146 e ter as características abaixo.

Características	Requisitos
Peso, gf/m ² , mínimo	41
Espessura, mm, mínima	0,33
Resistência ao rasgamento trapezoidal	
— Longitudinal, kgf, mínima	0,454
— Transversal, kgf, mínima	0,918
Resistência à tração:	
— Longitudinal, kgf/cm, mínima	2,323
— Transversal, kgf/cm, mínima	0,715
Flexibilidade	satisfatória (*)
Porosidade, em cm de coluna d'água:	
— Máxima	0,193
— Mínima	0,056

(*) Ausência de trincas, rachaduras e rupturas.

— Feltro de asbestos saturado

Recomenda-se o uso de feltro de asbestos saturado, por ser aquele que melhor característica de revestimento oferece neste uso, tendo função não só isolante do calor, o que evita danificar a camada de esmalte como também contribui na formação da camada de proteção contra intempéries e a corrosão.

O feltro deve obedecer às normas da AWWA C-203-66.

— Caição ou papel Kraft

A caição é às vezes preferível ao uso do papel Kraft, quando não é realizada uma inspeção em tempo integral, isto devido à possibilidade do papel Kraft encobrir defeitos na courada de revestimento do feltro.

O uso de caição ou papel Kraft, tem a finalidade de proteção do tubo contra o calor radiante, funcionando como espelho, na reflexão deste calor, o que protegerá as camadas externas e internas de esmalte.

— Ingredientes

50 galões de água, 1 galão de óleo de linhaça, 150 libras de cal de extinção rápida, 10 libras de sal.

— Mistura

O cal e o óleo devem ser adicionados lentamente e simultaneamente à água, sendo muito bem misturados. A mistura deve descansar durante 3 dias sem ser usada.

3. PRÉ-REQUISITOS PARA A QUALIFICAÇÃO DOS FABRICANTES

É evidente que não só a qualidade dos materiais, necessários à fabricação dos tubos e acessórios, devem ser controlados, mas também se faz necessário determinar se o fabricante proponente possui os pré-requisitos capazes de assegurar à fabricação um nível de qualidade compatível com os padrões estabelecidos nas normas adotadas.

Visando a consecução deste objetivo, listamos abaixo alguns elementos estudados e analisados para esta pré-qualificação.

3.1 — Avaliação da capacidade tecnológica da empresa em relação à:

3.1.1 — Equipamentos

Neste campo devemos estudar e listar as:

- disponibilidade de equipamentos de fabricação;
- suas características de operação;
- a produtividade dos equipamentos;
- suas obsolescências.

3.1.2 — Equipe de trabalho

Neste campo, verificamos as equipes de trabalho, bem como suas experiências específicas:

- equipe técnica, em nível universitário e grau médio;
- mão de obra qualificada para execução das operações relacionadas ao processo produtivo, a saber:
 - corte de chapas;
 - conformação do tubo;
 - soldagem manual e por processo automático;
 - execução dos testes especificados;
 - preparação de superfícies e aplicação de revestimentos;
 - Análise de curriculum, bem como do organograma.

3.1.3 — Tecnologia e processos de fabricação utilizados:

- definir os processos de fabricação tomando por base os tipos de equipamentos utilizados;
- avaliar a adequabilidade dos processos de fabricação aos pré-requisitos de qualidade do tubo de aço;

- constatar a execução de trabalhos similares e a análise na qualidade dos produtos apresentados;
- identificar a utilização de “know how” estrangeiro, mesmo em operações parciais.

3.2 — *Verificação e análise dos elementos de controle da qualidade do produto a saber:*

3.2.1 — Existência de laboratórios de testes físicos e químicos dos materiais de fabricação do cilindro ou de revestimento destes, bem como condições de execução dos testes destrutivos definidos nas normas.

3.2.2 — Existência de condições para a realização de testes não destrutivos, tais como:

- instrumentos de medição, adequados;
- aparelhos de raios X, raios γ , bem como a existência de cabines e alojamentos aos inspetores;
- aparelhos de ultra-som, se este teste for especificado;
- aparelhos detetores de falhas no revestimento (holiday detector) bem como medidores de espessura do revestimento etc.

3.3 — *Condições de movimentação de materiais e produtos*

3.3.1 — Verificar a existência de pontes rolantes, linhas transportadoras ou guindastes, bem como suas disposições na linha de fabricação;

3.3.2 — Verificar e esquematizar as linhas de produção;

3.3.3 — Verificar e levantar as áreas de estocagem de materiais, produtos semi-elaborados e produtos finais.

3.4 — *Estudo do layout de fabricação*

Este estudo é importante na determinação de gargalos (estrangulamentos) do processo de produção.

3.4.1 — Disposição e seqüência dos equipamentos relacionados às operações de fabricação;

3.4.2 — Desenho com indicação do fluxo de fabricação;

3.4.3 — Indicação das estações de controle, bem como as disponibilidades de áreas às suas realizações.

3.5 — *Apresentação dos dados e conclusões*

Os dados colhidos devem ser tabulados de forma a indicar idéias conclusivas sobre as possibilidades e disponibilidades dos fabricantes proponentes, concluindo também sobre as necessidades de equipamentos de fabricação, aparelhos de testes e instrumentos de medição para sua pré-qualificação.

4. EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA GARANTIR A QUALIDADE DOS TUBOS E ACESSÓRIOS, CONFORME AS ESPECIFICAÇÕES

Os equipamentos para corte, pré-curvatura dos anéis, conformação e montagem do tubo, soldagem, limpeza das superfícies, revestimento interno e externo, bem como os aparelhos e equipamentos para a execução dos testes e demais operações, deverão ser capazes de assegurar que a fabricação dos tubos estarão dentro dos padrões de qualidade especificados e normalizados.

4.1 — *Equipamento de corte*

As bordas das chapas poderão ser cortadas mecanicamente ou à chama.

Para o corte mecânico é indicado o uso de tesouras guilhotinas, quando a espessura não ultrapassar 1/4". Para o corte com tesouras guilhotinas, recomenda-se o uso de mesas dotadas de roletes, com guias apropriadas, para chapa, o que facilitará a movimentação da mesma, garantindo a qualidade do corte, de modo que os ângulos retos estejam em perfeito esquadro.

Esta operação é muito importante, pois garante a formação do cilindro sem aberturas irregulares na função das bordas e também evita ressaltos de ponta de chapa na extremidade do anel, o que facilita a operação de função de 2 ou mais anéis para a formação do tubo.

As chapas com espessura maior do que 1/4", devem ser cortadas à chama oxi-acetilênica, recomendando-se para isto que se proceda a limpeza do metal queimado e escamas formadas pela chama de corte, com equipamento adequado.

Em linhas contínuas de fabricação de tubos de aço com costura helicoidal, é utilizado um equipamento de corte à chama oxi-acetilênica, que é fixado ao tubo na posição de corte, tendo o bico da chama um movimento de 360° em torno do tubo, seccionado no comprimento requerido.

4.2 — *Equipamento para a formação do cilindro*

O equipamento para a formação do cilindro é basicamente constituído de:

- Prensa para a pré-curvatura (press brake).

É constituída basicamente de uma prensa viradeira hidráulica, dotada de um conjunto de matrizes com perfis projetados de forma a reproduzir na chapa a curvatura inicial desejada. Esta curvatura inicial será de tal forma a garantir a perfeita conformação do cilindro, eliminando quaisquer possibilidades de formação de ângulo ou achatamento na junção das extremidades (bordas) da chapa.

— Calandra

Poderão ser utilizadas calandras de 3 ou 4 rolos, no entanto deve-se deixar claro que a utilização de calandras de 4 rolos não elimina a necessidade de utilização da prensa viradeira para a execução da pré-curvatura.

No entanto a calandra deve estar em boas condições de funcionamento, bem ajustada, de forma a garantir o paralelismo das bombas longitudinais do anel.

A calandra não deve ter seus rolos com crateras ou incrustações que possam marcar a superfície da chapa.

— Máquinas contínuas

Para a fabricação de tubos helicoidais, é utilizada uma máquina contínua, que conjuga diversas operações a saber:

- a máquina é alimentada pela chapa de uma bobina, a qual é instalada em desenrolador acionado por um motor comandado por células fotoelétricas, com capacidade de regular a velocidade de alimentação. Segue-se ao desenrolador um conjunto dotado de rolos com função de tracionar a chapa e planificá-la, o que garante a conformação do cilindro sem defeitos de ondulação e retidão da geratriz do cilindro dentro das tolerâncias normalizadas. O conjunto de tração força a chapa dentro de um molde que tem a capacidade de dobrar a chapa numa curvatura adequada à formação do cilindro, utilizando para isto rolos de dobramento. A forma cilíndrica é garantida por meio de soldagem das bordas.

4.3 — Equipamento para soldagem

O equipamento para soldagem deve ser basicamente constituído de máquinas de solda a arco submerso, tanto para as operações de soldagem interna como para as operações de soldagem externa, longitudinal ou transversalmente.

A capacidade do equipamento deve estar em conformidade com a soldagem a ser executada, dependendo fundamentalmente da espessura do material a ser soldado e do projeto de solda executado.

Faz-se também necessário, equipamento para a soldagem semi-automática, em atmosfera gasosa, e equipamento de soldagem manual, que é permitida na execução de reparos, pontos de solda ou na fabricação de seções ou peças especiais, quando o uso de equipamento de solda a arco submerso não for possível. É recomendável o uso de equipamento de soldagem em atmosfera gasosa na execução de ponteamen- to ou mesmo num processo conjugado com solda a arco submerso, com grandes vantagens operacionais devido às facilidades de sua absorção, ausência de fluxos e escória a ser removida, vantagem de soldas em todas as posições e dar um cordão de solda de qualidade raios X.

As operações de soldagem devem ser conduzidas com grande perícia e alta qualidade sendo por isto requerido equipamento também de alta qualidade e em perfeitas condições de funcionamento.

As variáveis do processo de soldagem a saber: intensidade de corrente no arco, voltagem no arco e velocidade de execução da solda, devem ser perfeitamente controladas, sendo para isto exigidos aparelhos de medição aferidos, os quais garantirão a exatidão no controle destas variáveis.

4.3.1 — Equipamento para soldagem a arco submerso.

Basicamente o equipamento para soldagem a arco submerso é assim constituído:

4.3.1.1 — Fonte de energia; constituída de um grupo motor-gerador de corrente contínua ou de um transformador dotados de cabos de conexão ao cabeçote de soldagem e ao subtrato (peça a ser soldada).

4.3.1.2 — O cabeçote de soldagem; constituído de um motor, redutor de velocidade, sistema de alimentação por rolos de pressão e guias para o eletrodo (arame), suportando o sistema de deposição de fluxo ao cabeçote cabem as funções de depositar o material fundido formando o cordão de solda, alimentar o arame e transmitir a corrente de solda ao arame, através do local ou barras que estão ligadas ao barramento que vem da fonte de energia.

4.3.1.3 — O sistema de alimentação de fluxos; é formado por um reservatório que alimenta por gravidade o fluxo que recobre o arco elétrico.

Este sistema, juntamente com cabeçote, o carretel de arame e o suporte desenrolador do arame, estão montados em um carro com motorização própria que corre sobre trilhos.

4.3.1.4 — Os trilhos, formando um conjunto rígido, são dispostos ao lado da linha a ser soldada.

4.3.1.5 — A unidade de controle; basicamente constituída de amperímetros, voltmí- tros e reostatos de controle de velocidades.

Esta unidade tem a função de controlar as variáveis de solda, a saber; voltagem, amperagem e velocidades.

4.3.1.6 — Dispositivos de soldagem; são dispositivos que garantem o posicionamento do eletrodo sobre a peça e a linha de soldagem.

Estes dispositivos às vezes podem ser sofisticados a ponto de serem controlados por células fotoelétricas.

4.3.1.7 — Dispositivos opcionais, de soldagem; dependem do uso e da técnica de soldagem adotada; assim temos:

— para operações semi-automáticas ao arco submerso;

- a pistola de soldagem ao arco submerso, dotada de cabos e mangueiras para operação à longa distância;
- o separador magnético de partículas e outros, quando o trabalho assim o exigir.

4.3.1.8 — Dispositivos e gabaritos; são utilizados para simplificar ou mesmo garantir o sucesso de uma operação de soldagem.

Como sabemos, o sucesso destas operações dependem de um grande número de variáveis, e já fizemos menção à algumas delas nos itens anteriores, mas devemos dizer também que é sumamente importante a ajustagem das bordas da chapa, para obter uma boa solda.

Esta ajustagem é por vezes conseguida por meio de um corte convenientemente realizado mas é comum necessitar-se de dispositivos e gabaritos, adequadamente projetados, para se conseguir esta ajustagem.

Assim podemos ter dispositivos para o ponteamto dos anéis, para a soldagem transversal dos anéis, dispositivos portadores dos cabeçotes de soldagem nas operações de soldagem interna ou externa, ou mesmo na execução de soldas com mata-juntas de cobre ou fluxo.

4.3.1.9 — O uso de mata-juntas (back-up), nas operações de soldagem ao arco submerso, é de grande importância, tendo a finalidade de evitar o extravazamento da solda, e do metal fundido através do vão existente entre as duas bordas (gap).

O mata-juntas é, pois, artifício que se usa para evitar este extravazamento, podendo ser:

- base não fusível, a exemplo de um mata-junta de cobre;
- base fusível, quando se usa uma chapa metálica que se incorpora à junta;
- base de fluxo especial, podendo ser usado o próprio fluxo de proteção;
- base de solda, comumente denominada "seal pass" (passe de soldagem).

4.3.2 — Equipamento para soldagem em atmosfera gasosa.

O equipamento para soldagem em atmosfera gasosa, é definido em função das necessidades de operação ou do projeto de solda a ser executado; assim podemos ter a soldagem manual em atmosfera gasosa ou à máquina, com instalação semi-automática, sendo para isto usado os seguintes equipamentos, tanto para os M. I. G. (Metal Inert Gas) ou M. A. G. (Metal Active Gas).

4.3.2.1 — A fonte de energia.

É utilizado, tanto o grupo moto-gerador de corrente contínua, como o transformador retificador.

O grupo moto-gerador leva algumas vantagens em relação ao transformador retificador por possuir maior inércia e sofrer desgaste constante das peças girantes, sendo no entanto mais recomendável quando temos flu-

tuação da tensão de alimentação ou mesmo um baixo fator de potência da instalação.

O transformador retificador oferece uma melhor regulagem da intensidade de corrente (I) e menor consumo, por ser utilizado somente a partir do instante em que o arco é fechado.

4.3.2.2 — O cabeçote de soldagem.

O cabeçote é composto de uma unidade de alimentação de arame (elétrodo) e um painel contendo os aparelhos de controle.

4.3.2.3 — A pistola de soldagem.

A pistola de soldagem está conectada por cabos flexíveis e tubos que têm função de alimentar a energia, o gás e a água de refrigeração, bem como o arame de soldagem, que está em um carretel montado no cabeçote.

4.3.2.4 — Sistema de alimentação do gás, é basicamente constituído de recipientes de pressão para armazenagem do gás, dotado de válvulas de redução de pressão, medidores de pressão e vazão e válvula solenóide de comando.

Este sistema fornece e controla a vazão do gás.

4.4 — Conclusões

Do descrito neste capítulo concluímos sobre as necessidades de equipamentos de cada um dos fabricantes proponentes, necessidades estas que foram listadas em contrato a fim de formalizar obrigações de reequipamento, o que veio a dar a COMASP, não só uma maior tranquilidade, sobre a qualidade do produto, como também evidenciou as necessidades de controle.

Este controle pode ser caracterizado como sendo de duas naturezas distintas, a saber: o controle de expediting, em suas fases de diligenciamento, ativação e engenharia e o controle de inspeção com suas fases de qualificação de processos e de mão de obra, e o acompanhamento das fabricações dos produtos com inspeção em tempo integral, conforme será descrito adiante.

5. EXPEDITING

5.1 — Conceito de expediting

O expediting é uma atividade da engenharia, que se caracteriza por uma participação ativa no processo de aquisição de máquinas, equipamentos e materiais destinados a incorporarem-se às obras, tendo como objetivo assegurar que os fornecimentos sejam realizados no tempo necessário.

Visa também esta atividade, obter e comunicar informações reais e acusadas sobre o status de fabricação, seu progresso quanto ao cronograma de fornecimento, estabelecendo programas realísticos para estes fornecimentos e estudando junto aos fornecedores medidas que possam assegurar o cumprimento destes programas.

O engenheiro de expediting deve ter em mente que o fornecimento de um item, que embora em si não represente um grande valor pode no entanto ser essencial para uma montagem, a qual envolve máquinas e equipes de portes variáveis, ou mesmo a conclusão de um objetivo maior.

Cabe também a esta atividade, a responsabilidade sobre a análise dos contratos de fornecimento, a identificação das particularidades destes fornecimentos, tais como os níveis de qualidade desejados, as especificações, normas e desenhos a serem obedecidos, bem como a capacidade dos fornecedores em cumpri-los, orientando-os no sentido destas exigências ou mencionando suas incapacidades quando for o caso.

5.2 — Desenvolvimento dos trabalhos

Em nosso caso, as atividades de expediting foram voltadas inicialmente ao levantamento, das condições contratuais, onde estavam listadas as obrigações de reequipamentos identificando-os por operações e conforme as diferentes necessidades dos fornecedores contratados, seguindo os requisitos listados no capítulo 4 deste trabalho.

Estas necessidades foram então listadas e comunicadas aos fornecedores contratados, envolvendo aquisição de matérias primas, aquisição ou reforma de equipamentos julgados insatisfatórios, modificações de processo e de layouts.

Todas estas atividades foram discutidas e acertou-se em princípios cronogramas para as adaptações que deveriam ser executadas.

Todos estes trabalhos eram relatados e se procedia a controle rígido na sua evolução.

Sendo uma obrigação contratual, a remessa à COMASP da correspondência trocada entre os fabricantes de tubos contratados e seus fornecedores, foi-nos possível controlar as datas de emissão dos pedidos de compra às siderúrgicas, aos fornecedores do esmalte de alcatrão de hulha, da fibra de vidro, ou mesmo dos pedidos de importação do feltro de asbestos saturado adquiridos de fornecedores dos Estados Unidos da América do Norte.

Isto também nos permitiu analisar as especificações dos equipamentos encomendados, o que contribui sobremaneira para o aceleramento das adaptações e modificações de layout, bem como ao conhecimento dos processos de fabricação adotados, capacitando aos elementos de controle, reais condições de avaliação e de informação.

5.3 — Conclusão

Destas atividades concluímos ter sido a participação dos engenheiros de expediting de grande valia à conclusão dos objetivos da COMASP, permitindo a entrega de um pedido de aproximadamente 60 km de tubos com diâmetros variando de 36 a 84 polegadas, a fabri-

cantes brasileiros, numa primeira etapa, e garantindo um mercado fornecedor para suas futuras encomendas, sendo a mais próxima num montante não inferior a 90 km.

É evidente que deste procedimento se beneficiaram os proponentes qualificados pela COMASP para o fornecimento desta primeira encomenda, uma vez que lhes foram dadas garantias e condições para se reequiparem, bem como suporte financeiro para a aquisição das matérias primas necessárias.

Não devemos deixar de mencionar que as exigências das especificações da COMASP e o rigor no seu cumprimento, garantido pelos engenheiros de controle, trouxeram um incremento na tecnologia de fabricação de tubos de aço soldado, capacitando a indústria a fornecer ao mercado nacional com alto padrão de qualidade, com possibilidades de concorrer no mercado internacional em igualdade de condições.

Outras vantagens foram conseguidas com a introdução de técnicas de produção em massa, quais sejam as de redução dos custos e de aumento das capacidades produtivas, com possibilidades imediatas de se satisfazer a demanda do mercado.

Resta-nos citar a mudança introduzida nas necessidades do mercado, o que justificou solicitação formal à ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas, providências para a elaboração de uma norma específica para a fabricação de tubos de aço soldado para a condução de água de abastecimento, solicitação esta assinada por diversas entidades, fabricantes e compradores. Cabe-nos ainda citar que os trabalhos de expediting são complementados pelos trabalhos de inspeção os quais descrevemos a seguir.

6. INSPEÇÃO

6.1 — Conceito

O conceito de inspeção já é mais facilmente explicável face à uma maior atuação nesta área de engenharia, por ser comum aos processos produtivos nos diversos ramos industriais.

Cabe-nos portanto falar somente sobre seu conceito aplicável à fabricação de tubos de aço soldado para a condução de água.

Os trabalhos de inspeção para este tipo de produto são realizados em tempo integral e por equipes de inspetores treinadas para o desempenho de tarefas específicas.

Dentre estas tarefas destacamos aquelas referentes às diversas etapas de fabricação, agrupando-as como segue:

- etapa de formação do tubo, incluindo desde o corte, a calandragem, soldagem, usinagem do bísel e teste hidrostático;
- etapa de revestimento do tubo, incluindo a preparação da superfície interna e externa do tubo, aplicação do primer e revestimento interno e externo e condições do produto antes do embarque;

— etapa de controles, incluindo os testes radiográficos, por ultra-som, testes destrutivos para o controle dos processos qualificados, teste de falhas no revestimento (holiday detector) e medições de espessuras, bem como a inspeção visual, feita antes do embarque dos tubos.

Faz-se ainda necessário, informar do papel de fiscalização exercida pelos elementos de inspeção, tanto quando executando diretamente as tarefas, como quando coordenando os serviços de empresas especializadas contratadas para esta execução.

Esta modalidade de serviços é bastante conhecida, em outras áreas de atividades industriais, tais como a naval e do petróleo, mas já se torna comum à medida que se formam grandes organizações do tipo COMASP, SANESP (Cia. Metropolitana de Saneamento de São Paulo), Cia. do Metropolitan de São Paulo e outras.

6.2 — Desenvolvimento dos trabalhos

Os trabalhos da equipe de inspeção iniciam durante a fase de qualificação dos processos de soldagem, da mão de obra dos soldadores e operadores de equipamentos de soldagem, prolongando-se em tempo integral durante todo o processo de fabricação, até a expedição do tubo fabricado.

Os trabalhos se desenvolvem segundo procedimentos pré-estabelecidos e listados no contrato de compra.

Dentre estes procedimentos destacamos:

— Inspeção das chapas de aço.

As chapas de aço empregadas são inspecionadas visando a identificação das propriedades mecânicas e composição química, confrontando-as com os valores das normas correspondentes.

Para isto, são aceitos os certificados emitidos pelas siderúrgicas, desde que as chapas sejam perfeitamente identificadas. Poder-se-ia estender a inspeção ao processo de fabricação das chapas, no entanto tal procedimento seria um refinamento que inevitavelmente oneraria enormemente o custo de inspeção, não sido portanto adotado em nosso caso.

Faz-se necessário citar outros controles efetuados durante o corte das chapas, visando a inspeção dimensional, bem como a incidência de dupla laminação e acabamento superficial quanto a defeitos injuriosos, os quais passíveis de rejeição.

— Inspeção dos materiais de revestimento:

Estes materiais serão inspecionados à semelhança das chapas de aço. Serão inspecionados visando a comprovação de sua qualidade através de certificado de análises e de testes, conforme valores citados na norma AWWA C-203-66.

É válido promover-se o acompanhamento de testes materiais durante o processo de qualificação dos mesmos.

É de se notar que a responsabilidade sobre a qualidade dos materiais, bem como a conformidade destes com as normas, pertence exclusivamente aos fabricantes destes materiais, bem como a conformidade destes com as normas, pertence exclusivamente aos fabricantes destes materiais e dos fornecedores de tubos, cabendo à COMASP apenas os controles que julgar necessários.

Assim, ao comprador do produto final cabe definir em qual nível de controle irá atuar, não sendo o mesmo estático, dependendo do fabricante ou seus fornecedores.

— Inspeção das soldas:

Tanto os processos de soldagem, quanto as soldas executadas deverão estar sujeitas à inspeção, visando o controle dos métodos de execução, qualidade dos materiais empregados e da solda executada.

Sendo portanto necessário o controle das variáveis do processo de soldagem, intensidade de corrente, voltagem e grau de fusão (relação entre a velocidade de fusão e a velocidade de avanço), bem como dos elétrodos (arames) e fluxos empregados.

A inspeção da solda, visual e dimensional será feita, atentando para:

- desalinhamento das partes soldadas;
- mordeduras;
- extravazamento ou queima na penetração (burn-through);
- empenamento;
- sobre-solda;
- largura do cordão de solda;
- Inspeção de fabricação.

Todas as demais etapas de fabricação, estarão sujeitas à inspeção, sendo por isto definida a necessidade de uma inspeção em tempo integral.

A inspeção deve visar não somente o produto em elaboração, mas também os processos de fabricação qualificados, sendo por isto, necessário executar controles periódicos e de acordo com as normas adotadas inicialmente.

A inspeção das demais etapas de fabricação visa controlar, além das operações de montagem dos tubos, as dimensões das seções montadas no tocante a:

- comprimento;
- diâmetro;
- ovalização;
- linearidade;
- ortogonalidade das extremidades em relação ao eixo;
- perfil do bísel das extremidades.

Também serão controladas as operações ligadas ao revestimento, a saber:

- preparação das superfícies, para aplicação do primer;
- aplicação do primer;
- aplicação do esmalte e lençol de fibra de vidro;
- aplicação do feltro de asbestos saturado;
- testes não destrutivos e hidrostático;
- testes não destrutivos.

As diretrizes básicas de execução e aceitação, dos testes do ultra-som, são aquelas fixadas pelas normas API 5 LX; API 1104 ou pelo "ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII" e dos testes radiográficos são aquelas fixadas pelo "ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII".

A realização destes testes é essencial para se garantir o nível de qualidade das soldas.

Assim os comprimentos radiografados ou ultrasonados, podem variar desde 20 a 100% em relação aos comprimentos soldados.

A aplicação e interpretação destes testes demanda a utilização de uma tecnologia altamente especializada, e deve ser executada por equipes bem treinadas, sem o que perderá significância.

Existem empresas que se especializam na execução destes serviços, mas é comum ver-se os mesmos executados pelos próprios fornecedores, o que se torna impróprio não só pela falta de habilitação profissional, mas também pela falta de condições de controle dos serviços executados.

Neste caso, lembramos que uma empresa especializada quando contratada por qualquer empresa compradora, recebe continuamente, delegação de poderes na extensão das tarefas a serem realizadas, sendo portanto um preposto do comprador.

Outro aspecto que se deve mencionar é o de que uma indústria produz, quase sempre, com a qualidade requerida pelo mercado consumidor, portanto a qualidade será até certo ponto um atributo da inspeção do consumidor.

A aplicação de testes radiográficos ou ultrassônicos, depende da opção da empresa compradora, no entanto deverá ser sempre objeto de acordo contratual.

A COMASP adotou no controle de fabricação de suas tubulações, opções múltiplas em que temos, somente radiografias, radiografias e ultra-som e somente ultra-som, dependendo das condições dos fabricantes e de seus processos de fabricação.

Teste Hidrostático.

As condições de aplicação do teste hidrostático são aquelas definidas pela norma AWWA C-201/66.

Os tubos e peças especiais quando possível, serão testados hidrostaticamente antes de serem revestidos interna e externamente.

6.3 — Conclusão

Do que apresentamos neste capítulo cabe-nos concluir sobre a essencialidade do papel da

inspeção no processo de fabricação visando a manutenção do nível de qualidade dos tubos e acessórios dentro dos valores e padrões especificados.

Concluimos também ser o campo da atuação da inspeção de significativa relevância no encaminhamento dos problemas surgidos nos processos de fabricação, equacionando-os de forma técnica e objetiva, contribuindo para evitar soluções de continuidade no fluxo de fabricação, tratando de solucionar o conflito fabricante-comprador de forma válida e coerente.

É de ressaltar o papel do desenvolvimento tecnológico exercido por estas atividades, bastando para isto citar que estes trabalhos se desenvolvem com constantes consultas a especificações, normas e desenhos, fatos que pela repetição promovem a rotina e conseqüente memorização das técnicas empregadas, difundindo-as num meio cada vez mais extenso, extravazando-se ao âmbito do grupo com funções específicas, atingindo compradores e vendedores os próprios limites do objetivo inicial.

7. CONCLUSÕES FINAIS

A extensão do trabalho que apresentamos, visa identificar quase todas as atividades desenvolvidas no processo de fabricação de tubos e acessórios, de aço soldado, não tendo sido no entanto, dado ênfase a fabricação de acessórios.

Para este caso, deve-se seguir todas as etapas percorridas na fabricação de tubos, acrescentando-se algumas atividades peculiares do processo, qual sejam o uso da solda manual, o corte de tubos para a formação de seções de curvas e a montagem das peças, utilizando-se para isto dispositivos de fixação ou posicionadores de soldagens.

Fica no entanto definido que existem necessidades bastante configuradas quanto ao papel do controle de fabricação, demonstrado por vezes pela atuação dos engenheiros de expedição ou de inspeção, ou atuação de chefias em nível maior do que aqui citados, graças ao levantamento de que questões, controvérsias ou dificuldades que normalmente contribuem para o não cumprimento dos objetivos.

Por outro lado ressaltamos, que é essencial para o desenvolvimento destas atividades, que sejam descritas no contrato de fornecimento todas estas obrigações e procedimentos, sem o que quaisquer gestões das equipes de controle seriam inócuas, projetando no futuro problemas que afetariam os interesses da empresa compradora, bem como de outros possíveis contratos, a exemplo, o de instalação dos tubos e de montagem dos equipamentos de controle das linhas, bem como de toda a população que não somente veria seus recursos mal empregados como também sofreria todas as conseqüências dos serviços mal implantados.