

## **Fabricação de tubulações utilizando o processo arco submerso**

Douglas A. de Oliveira Gomes – [douglasapgomes@hotmail.com](mailto:douglasapgomes@hotmail.com)

Deivid Ferreira Pinho - [deividpinhosp32@gmail.com](mailto:deividpinhosp32@gmail.com)

Jefferson kaio Godinho - [jefersonkaio@yahoo.com.br](mailto:jefersonkaio@yahoo.com.br)

Professor Luiz Gimenes – Orientador [gimenes@infosolda.com.br](mailto:gimenes@infosolda.com.br)

Fatec-SP Novembro/2014

## Otimização da fabricação de tubulações utilizando o processo arco submerso

Neste artigo técnico iremos verificar a fabricação de tubos com especificação para aços de baixa liga, em particular os fabricados de acordo com a norma API destinados as áreas de Óleo e Gás, demonstraremos todo o processo de fabricação, indicando as variáveis dos processos de solda.

# Introdução

As tubulações industriais são utilizadas em indústrias de processamento, químicas, petroquímicas, refinarias de petróleo, alimentícias e farmacêuticas para transportar fluídos de uma entrada (bomba), para uma saída (reservatório).

Tubulação é um conjunto de tubos e acessórios voltados ao processo industrial, principalmente para distribuição de gases, óleos, vapores, lubrificantes e demais líquidos industriais e, chegam a representar 70% do custo dos equipamentos, ou 25% do custo total da instalação.

As tubulações industriais podem ser divididas em 02 classes distintas: tubulações dentro de instalações industriais e tubulações fora de instalações industriais.

As tubulações dentro de instalações industriais abrangem tubulações de processo, utilizadas, instrumentação, transmissão hidráulica e de drenagem. A tubulação fora de instalações industriais abrangem tubulações de transporte (adução, transporte e drenagem) e tubulações de distribuição (distribuição e coleta).

Neste artigo técnico iremos verificar a fabricação de tubos com especificação para aços de baixa liga, em especial os API (American Petroleum Institute) destinados as áreas Óleo e Gás.

Os aços para tubulações na indústria do petróleo são geralmente classificados, segundo a API, em função de sua aplicação, composição química e resistência mecânica. Os aços utilizados especificamente na fabricação de tubos para as linhas de transmissão seguem a classificação API 5L (Specification for Line Pipe steel). Para a classe API 5L por exemplo, no aço API 5L X80, os dois últimos dígitos após a letra X especificam o limite de escoamento mínimo do material igual a 80 kSI ou 550 Mpa.

Na fabricação de tubos de grande espessura, há necessidade de uso de aços de alta resistência mecânica à tração, como por exemplo, os aços da série API 5L – X70 (limite de escoamento mínimo de 480 MPa). Especificações internacionais requerem elevadas propriedades de impacto para este aço e, naturalmente, também para as suas juntas soldadas.

De um modo geral, os aços para os tubos podem ser divididos em quatro grandes grupos de resistência, como pode ser observado na tabela 1.

Classe (LE)	Graus Típicos	Uso
Min 217 MPa	API 5L A/B X42 / X46 / X 52 / X56	Dutos não submetidos à pressão e onde a espessura em peso é importante
Min 453 Mpa	API 5L X60 / X65	Dutos submetidos à média e alta pressão onde a preocupação com a economia em peso é considerada
Min 522 Mpa	API 5L X70	Dutos submetidos à alta pressão onde a preocupação com a economia em peso é importante para o projeto
Min 551 Mpa	API 5L X80	Dutos submetidos à alta pressão onde a

		preocupação com a economia em peso é muito importante para o projeto
--	--	---

Tabela 1 – Graus típicos, uso e classes dos tubos Fonte: API 5L Specification 2007

Estas exigências refletem não apenas a necessidade dos aços e das juntas soldadas possuírem uma temperatura de transição a mais baixa possível (característica essencial para usos em regiões frias), mas também um elevado patamar superior de energia de impacto, particularmente em gasodutos, cujas elevadas tensões de serviço podem contribuir para a ocorrência de falha no modo dúctil de propagação de trincas. O principal guia para a soldagem de tubulações é a norma API 1104, a qual fornece dados necessários à obtenção de juntas soldadas com boas qualidades.

## Soldagem de tubulação com costura para aços baixa liga (Processo de fabricação)

Caso específico para análise: API 5L

Dimensões de fabricação: Tubos de 6 metros e diâmetros de 20" a 32" polegadas e espessuras de 6,35 a 16,00 mm

Demonstração das etapas de fabricação:

- Chapa e comprada conforme critérios de aceitação para tubos API conforme atendendo critérios de ensaios químicos e mecânicos.  
A ASTM (American Society for Testing and Materials), órgão americano responsável pela normatização e padronização de materiais para diversas áreas da indústria especifica mais de 500 tipos de materiais utilizadas na fabricação de tubulações industriais. Dentre os diversos materiais catalogados pela ASTM, destacamos os mais utilizados na fabricação dos tubos: tubos metálicos (ferrosos e não ferrosos), tubos não-metálicos e tubos de aço com revestimento interno, no caso API é especificada uma chapa que atenda as especificações exigidas como as propriedades químicas e mecânicas, as grandes chaparias produzem chapas o mais próximo das especificações necessitando assim uma especificação técnica do matéria que garanta as necessidades, comumente se utiliza chapas A-36 para fabricação de Tubos API PSL 1 Gr. B que exige pouca resistência a tração.
- Após liberação a chapa e esquadrejada para alinhamento das juntas a serem soldadas.  
As chapas devem ser esquadrejadas ou aparadas as bordas para que se garanta o fechamento total na hora de realizar a soldagem ou a costura do tubo, hoje se utiliza de mais moderno são potentes CNC (Comando numérico computadorizado) a plasma ou laser que realizam o corte sem

deixar farpas nas bordas e sem aquecer as regiões cortadas além de ganhos em produtividade pela velocidade de corte.

- Chapas são chanfradas em X, critério API para soldagem diz que as soldas devem ser externas e internas.

Para se garantir total penetração e união do metal de base, comumente são utilizados em fabrica chanfros em X, se torna desnecessário altas amperagens no arco submerso evitando furos, vazões e reparos, além de se obter melhores resultados nos ensaios de soldagem.

- Realizado o dobramento das bordas, a fim de evitar o esforço excessivo das calandras.

As bordas são dobradas na angulação do diâmetro a ser fabricado, este método tem a finalidade de reduzir o esforço da calandra pois cria um ponto de partida para o início da operação.

- As chapas são calandradas e seladas com processo de soldagem GMAW.

Com a finalidade de apenas posicionar e manter as juntas a serem soldadas, devido à alta temperatura do arco submerso, são refundidas novamente durante o processo.

- A junta interna é soldada com Processo SAW Tanden em uma média de 96 cm/min.

- A junta externa é soldada com Processo SAW Tanden em uma média de 96 cm/min.



Figura 2: Fonte Power wave Lincoln para Arco submerso Fonte: Revista Lincoln 2014

Realizada com power wave que podem chegar a 1000 amperes, cada fonte produz dois eletrodos independentes que podem ser regulados diferentes, trabalha com Tandem, ou seja um arame após o outro, sendo preenchido a junta em um único passe, precisando apenas de ajustes conforme a espessura da tubulação, podem chegar a velocidade de até 150 cm por minuto, ótimo acabamento da região soldada e sem a geração de respingos.

- Realizada a recalandragem, para que o tubo esteja dentro da máxima ovalização permitida.

As altas temperaturas do processo SAW, deformam levemente as proximidades da junta soldada, é necessário refazer uma recaladragem, pois por mais leve que seja a deformação é o suficiente para ovalizar o diâmetro do tubo que tem máximas permitidas e mm.

### Início das END's.

- Realizada ultrassom automático e manual nas juntas soldadas

Para garantir total penetração da solda no material de base e a inexistência de defeitos internos e mesmo externos como poros, falta de fusão e outros, é verificado pelo inspetor qualificado de ultrassom nível 2 toda a área soldada, qualquer defeito encontrado acima das tolerâncias permitidas deverá ser reparado, durante o ultrassom automático seus acopladores deslizam sobre a solda longitudinal, porém não se consegue a acoplagem total durante o início e o fim do processo, o inspetor qualificado verifica as pontas com um aparelho manual.

- Realizado Teste hidrostático com 70 % do Máximo exigido que o tubo deve aguentar sem sofrer alteração plástica.

Uma das principais funções do teste é verificar se não há furos na solda ou mesmo na chapa, vazamentos durante o teste são reconhecidos por queda de pressão durante o ensaio, após a localização da irregularidade deve realizar um reparo.

- Realizado primeira inspeção visual e dimensional.

Inspetor qualificado em EVS (Especificação visual de solda) ou Inspetor de solda realizam o ensaio visual de toda a solda, qualquer defeito deve averiguado e em caso de não conformidade, será retrabalhado, seja por lixamento ou reparo.

- Retirado RX a 200 mm de cada ponta das juntas soldadas.

O ultrassom automático não consegue averiguar as pontas com total precisão, é realizado o raio X ou gamagrafia das extremidades com o mesmo intuito do ultrassom, em casos específicos ou exigências do cliente é realizado o raio X de toda a solda do tubo.

- Em caso de aprovação total retirada amostra pros ensaios químicos e mecânicos.

Amostras retiradas do próprio corpo do tubo, as amostras laboratoriais são retiradas conforme as corridas do matéria-prima, uma amostra por corrida, em caso de reprovação, todo o lote produzido com aquela corrida esta reprovada.

- Biselamento circunferencial nas duas pontas.

As duas pontas do tubo são biseladas, existe tolerância máxima de perpendicularidade, o objetivo é que o tubo fique o máximo possível trabalhado antes de chegar a obra, considera-se que em obra, não existe tantos recursos como em fabrica.

- Feita a máscara (rastreabilidade) no tubo.

A máscara ou pintura interna no tubo como é mais conhecida, identifica o tubo, podendo caso necessário avaliar todas as usas etapas de fabricação, se houve ou não retrabalho, em outras palavras a máscara é a identidade do tubo.

- Nova inspeção dimensional, com emissão de relatório e aprovação final dos tubos.

Analisado conforme norma, através da inspeção o tubo é pesado, medido e analisado, somente após liberação de inspetor qualificado o tubo é liberado para embarque.

Em algumas obras é acordado com o cliente a envernização do tubo para retardar a corrosão.

- Reparo.

Existe para fazer retrabalhados na solda, seja interna ou externa, realizado por processo de eletrodo revestido, caso o reparo seja interno é realizado goivagem da solda, processo no qual se retirada o material fundido com um eletrodo de carvão com alta corrente e ar comprimido, para depois ser preenchido novamente mais agora com eletrodo revestido, após o reparo é feito algum ensaio para garantir a qualidade do reparo, normalmente ultrassom ou mesmo raio x, em alguns casos ensaios de líquido penetrante ou de partícula magnética.

Observações: existem em geral para todas as tubulações API limites para reparos, variando pouco de acordo com o grau ou especificação, alguns graus sequer permitem reparo, outros limitam por exemplo a 10% de toda a solda.

# Conceitos, parâmetros e procedimentos do processo de soldagem

## Conceito do processo Arco Submerso

Na soldagem ao arco submerso (SAW), a união das peças é obtida pela sua fusão localizada com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu, geralmente um arame, e a peça de trabalho. A proteção da poça de fusão e do arco é feita por um material granulado (fluxo) que colocado sobre a junta, cobrindo a região do arco.

O uso do fluxo limita as posições de soldagem que podem ser usadas e impedem a observação direta da região do arco. Embora a soldagem com um único arame seja a mais comum, existem versões do processo que utilizam simultaneamente dois ou três arames ou que trabalham com um eletrodo na forma de fita o que é muito utilizado na deposição de camadas de revestimento. O processo é quase sempre usado na forma mecanizada com altas densidades de corrente, possibilitando em uma grande penetração e alta taxa de deposição (até cerca de 22kg/h).

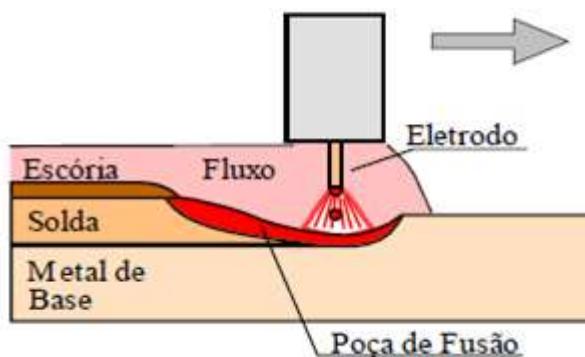


Figura 2.1 – Esquema de soldagem – Fonte: Trabalho prático UFMG – Técnica operatória de soldagem SAW

O equipamento básico do processo consiste de uma fonte de energia, cabos, cabeçote de soldagem (composto, em geral, de tocha, alimentador de arame ou fita, sistema de controle e sistema de alimentação de fluxo) e sistemas para o deslocamento e posicionamento das peças e/ou do cabeçote.

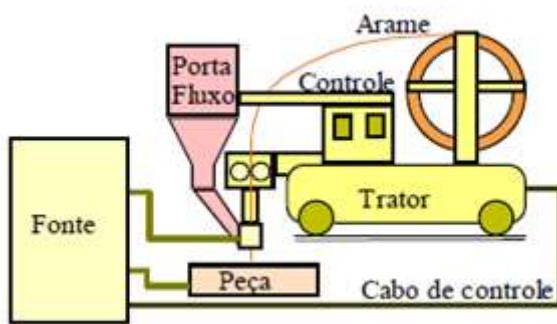


Figura 2.2 – Equipamentos para a soldagem SAW – Fonte: Trabalho prático UFMG – Técnica operatória de soldagem SAW

Nos equipamentos mais comuns, particularmente aqueles que trabalham com arames de menor diâmetro (inferior a 4mm), utiliza-se fontes de tensão constante com alimentação de arame a velocidade constante uma vez que este tipo de sistema permite um controle “intrínseco” do comprimento do arco.

Fontes de corrente constante em conjunto com alimentadores de arame cuja velocidade é variável e controlada por sistemas eletrônicos de forma manter o comprimento do arco constante são encontradas principalmente em equipamentos que usam arames de maior diâmetro. Neste caso a fonte é, em geral, de corrente alternada e, no primeiro caso, de corrente contínua.

No processo de soldagem SAW é influenciado por um grande número de variáveis que incluem:

- Técnica básica de soldagem (um ou vários arames, etc.),
- Projeto da junta,
- Combinação arame/fluxo;
- Diâmetro do eletrodo,
- Equipamentos de suporte (dispositivos de deslocamento de peças, posicionadores, etc.),
- Distância do bico de contato à peça,
- Ângulo do eletrodo em relação à solda,
- Corrente de soldagem,
- Tensão do arco, e
- Velocidade de soldagem.

O detalhamento do projeto de uma junta depende da espessura e tipo do material, tipo da junta, características do processo de soldagem e, em parte, das normas e códigos que estão sendo consideradas. Para a soldagem SAW, juntas de topo em chapas de até 8mm de espessura podem ser soldadas sem chanfro e com abertura nula. Com aberturas de cerca de 10% da espessura, podem ser soldadas juntas sem chanfro de até cerca de 15mm desde que o sistema possa fornecer corrente suficiente. Neste caso, necessita-se frequentemente de um meio para reter o metal fundido na raiz da solda (uma

camada de fluxo ou uma barra de aço ou cobre). Além de facilitar a penetração, a abertura da junta também influencia o formato do cordão, em particular, a altura do reforço. Assim, mantidas todas as demais variáveis constantes, o reforço diminui com uma maior abertura. A soldagem de juntas de maior espessura tende a exigir tanto a execução de vários passes de solda com a abertura de um chanfro adequado para se conseguir uma solda de penetração total. Para a soldagem mecanizada, a preparação correta e adequada da junta é fundamental. Em particular, a variação das dimensões do chanfro ao longo da junta leva à formação de soldas de dimensões irregulares.

A escolha dos consumíveis para uma dada aplicação depende do tipo de material sendo soldado, procedimento de soldagem e propriedades desejadas para a solda. Na soldagem SAW, o arame e o fluxo desempenham um papel conjunto na determinação das propriedades da solda e, portanto, não tem sentido especificá-los separadamente. No Brasil, para a soldagem SAW de aço carbono, a combinação de arame e fluxo é usualmente designada de acordo com a norma AWS A5.17.

O diâmetro do eletrodo influencia a largura e a penetração do cordão e a taxa de deposição para um dado nível de corrente. Assim, a penetração do cordão tende a diminuir, a sua largura a aumentar e a taxa de deposição a diminuir se um eletrodo de maior diâmetro for usado com a mesma corrente. Adicionalmente, a abertura do arco tende a ser mais difícil e a estabilidade do processo menor. Como no caso de outros processos de soldagem a arco, para cada diâmetro de arame, existe uma faixa de corrente mais adequada para a sua utilização (tabela 1).

Tabela 2 – Faixa de corrente mais adequada para arames de aço baixo carbono em função de sua bitola

<b>Bitola do arame (mm)</b>	<b>Faixa de Corrente (A)</b>
2,4	120-700
3,2	220-1100
4,0	340-1200
4,8	400-1300
6,4	600-1600
8,0	1000-2400

O comprimento do eletrodo, isto é, a sua extensão que conduz a corrente de soldagem do bico de contato até o arco, é uma importante variável do processo pois ela controla a quantidade de calor gerado por aquecimento resistivo (efeito Joule) no eletrodo. Assim, o uso de um maior comprimento do eletrodo para um dado nível de corrente provoca um maior aquecimento do eletrodo (devido ao aumento de sua resistência elétrica) e aumenta a sua velocidade de fusão, particularmente quando se trabalha com altas densidades de corrente

(superiores a 125A/mm<sup>2</sup>). Na prática, como a medida durante a soldagem do comprimento do eletrodo não é fácil, trabalha-se usualmente com o valor da distância do bico de contato à peça (“stickout”). Valores recomendados deste parâmetro variam de 8 a 15 vezes o diâmetro do eletrodo.

O ângulo de inclinação do eletrodo em relação à solda determina a direção de aplicação da força do arco, influenciando o formato do cordão e a tendência à formação de mordeduras.

O cordão de solda tende a ser mais estreito e profundo, e a tendência à formação de mordeduras é maior, quando o cabeçote de soldagem é inclinado de forma que o arco fique direcionado no sentido oposto ao de soldagem (figura 2).

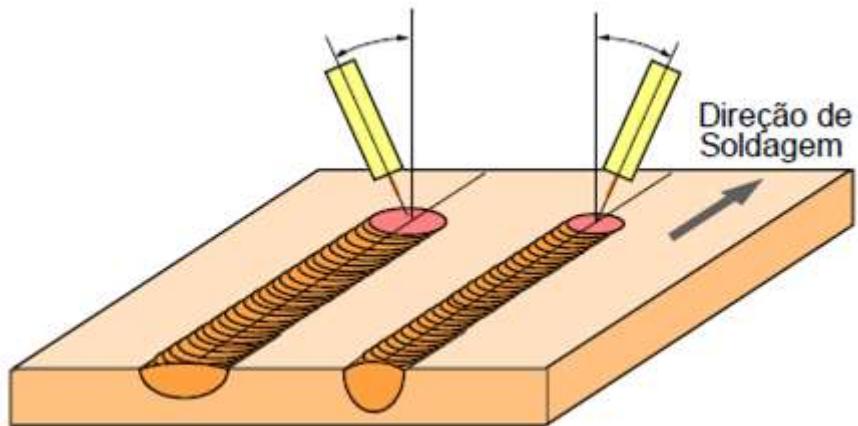


Figura 2.3 – Efeito da inclinação do eletrodo no formato do cordão – Fonte: Trabalho prático UFMG – Técnica operatória de soldagem SAW

A corrente de soldagem é a variável que controla de forma mais direta a taxa de fusão do arame, a penetração e a altura do reforço da solda, todas estas aumentando com a corrente. O uso de uma corrente muito elevada pode, dependendo da espessura da junta, causar uma penetração excessiva e a formação de furos ou levar a formação de um cordão com uma razão penetração/largura muito alta (o que favorece o aparecimento de trincas no centro do cordão) e de mordeduras. Na soldagem SAW, o uso de corrente contínua e polaridade inversa (eletrodo positivo) resulta em uma maior penetração e uma menor taxa de fusão do que a polaridade direta. O uso de corrente alternada fornece resultados intermediários e minimiza a ocorrência de sopro magnético.

A tensão de soldagem influencia mais fortemente o comprimento do arco e a largura e a altura do reforço do cordão, tendo um efeito mais fraca na penetração e na taxa de fusão do eletrodo. Na deposição direta de cordões de solda sobre uma chapa, o uso de uma maior tensão causa um aumento do comprimento do arco e da largura do cordão e uma redução do seu reforço .Na

soldagem em chanfro, um valor elevado de tensão pode fazer com que o arco não atinja a raiz da solda e resulte de falta de penetração (figura 4). A tensão de soldagem é particularmente importante na soldagem com fluxos ligados (capazes de fornecer elementos de liga para a solda). Como o consumo de fluxo aumenta com a tensão de soldagem, maiores valores desta tendem a aumentar a quantidade de elementos de liga incorporados à solda. Uma estimativa inicial do valor de tensão a ser utilizado para um dado valor de corrente na soldagem SAW pode ser obtida através da equação:

$$V = 3,54 + 0,344 \quad (200 < I < 1500A)$$

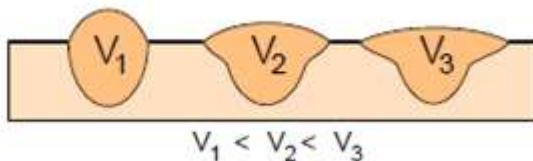


Figura 2.4 – Influência da Tensão do arco no formato de cordões depositados sobre a chapa –  
Fonte: Trabalho prático UFMG – Técnica operatória de soldagem SAW

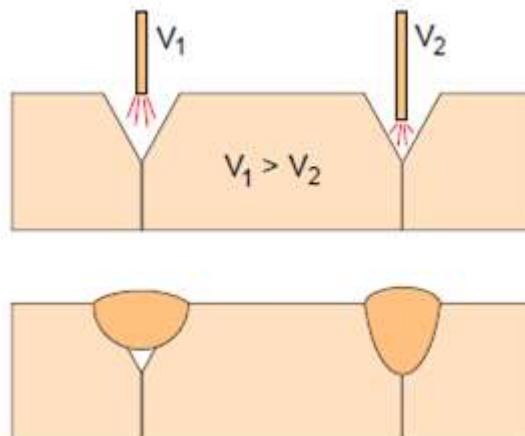


Figura 2.5 – Influência da Tensão do arco no formato de cordões depositados em chanfro –  
Fonte: Trabalho prático UFMG – Técnica operatória de soldagem SAW

A altura da camada de fluxo sobre o cordão é uma variável importante do processo SAW. Uma camada muito fina permite que parte da radiação do arco escape e não possibilite uma eficiente proteção contra a atmosfera. Uma camada muito espessa dificulta o escape dos gases gerados favorecendo a formação de cordões irregulares e com marcas superficiais.

A formação de trincas de solidificação é comum na soldagem SAW devido ao volume relativamente grande da poça de fusão neste processo. O formato da seção transversal do cordão é um fator importante para a sensibilidade à formação deste tipo de descontinuidade. Cordões estreitos e profundos (alta razão penetração/largura) tendem a apresentar trincas no seu centro e cordões com seção na forma de sino (resultantes do uso de uma tensão elevada e uma baixa velocidade de soldagem) podem apresentar trincas laterais.

A soldagem SAW é realizada predominantemente de forma mecanizada. Nesta, as operações de acendimento do arco, a manutenção deste, alimentação de metal de adição e translação ao longo da junta são realizadas pelo próprio equipamento sob a supervisão do Modenesi – Técnica Operatória da Soldagem SAW – 6 operadores. Neste caso, para a deposição de um cordão, o operador realiza basicamente as seguintes tarefas:

- Alinhamento da direção do movimento de translação a ser executado pelo cabeçote durante a soldagem com a direção da junta.
- Posicionamento do cabeçote na posição de início de soldagem e preparação para a abertura do arco.
- Abertura do arco: Uma técnica usual de abertura consiste na colocação de uma pequena quantidade de lã de aço entre o eletrodo e a peça. Com o início do processo, a corrente inicialmente passa pela lã de aço, vaporizando-a e causando a abertura do arco. Alternativamente, pode-se cortar a ponta do arame de forma bem pontiaguda. Estes procedimentos evitam que, no contato inicial do arame com a peça, passe uma corrente muito elevada, o que poderia ser prejudicial para o equipamento. Existem sistemas que possuem técnicas especiais para facilitar a abertura do arco e que dispensam os métodos citados acima.
- Supervisão do processo de soldagem, incluindo a verificação da correção dos parâmetros de soldagem e o alinhamento do cabeçote com a junta. Interrupção do arco.
- Limpeza, se necessária, do cordão depositado e preparação para a deposição do próximo cordão.

**Parametização de arco submerso: Tandem Arc**  
**Corpo de prova de 16 mm – Tubulação de Ø32 polegadas**

<b>Solda Interna</b>		
	<b>Arco 1</b>	<b>Arco2</b>
Programas	<b>49 CC Square Wave</b>	<b>56 CV Square Wave</b>
Arame	<b>EM 12K</b>	
Bitola	4,00mm	3,2mm
Corrida arame		
Fluxo	<b>F7A0-EM12K</b>	
Vel. Arame/Corrente	<b>870</b>	<b>4.01 m/min= 800A</b>
Tensão (V)	<b>31</b>	<b>38</b>
Velocidade	<b>880 mm/min</b>	
Ângulo	0	15
Stick Out	30mm	
Espaçamento	15 -20mm	
Posição	Plana / longitudinal	
Ângulo da junta	80 +/- 5	
Off Set	0	0
Balanço	75%	25%
Frequência	70 Hz	

<b>Solda Externa</b>		
	<b>Arco 1</b>	<b>Arco2</b>
Programas	<b>48 CC DC+</b>	<b>59 AC Square Wave</b>
Arame	<b>EM 12K</b>	
Bitola	4,00mm	3,2mm
Corrida arame		
Fluxo	<b>F7A0-EM12K</b>	
Vel. Arame/Corrente	<b>910A</b>	<b>630A</b>
Tensão (V)	<b>30</b>	<b>38</b>
Velocidade	<b>880 mm/min</b>	
Ângulo	0	15
Stick Out	30mm	
Espaçamento	15 -20mm	
Posição	Plana / longitudinal	
Ângulo da junta	80 +/- 5	
Off Set	N/A	N/A
Balanço	N/A	N/A
Frequência	80 Hz	

Tabela 3 - Parâmetros de uma Power wave – lincoln 100

**Necessidade de tubulação para o transporte.**

O transporte tubular abrange todas as partes constituintes de uma instalação física, através da qual os líquidos (petróleo e seus derivados)

ou gases (gás natural, dióxido de carbono) são transportados, incluindo as tubagens e os equipamentos a elas anexados, tais como válvulas, etc. Fazem também parte desta instalação unidades de compressão, estações de bombagem, estações de dosagem, estações de regulação, estações de distribuição, etc. O transporte tubular é o tipo de transporte mais seguro e eficiente no que se refere à transportação de petróleo bruto e gás natural, desde os campos de produção até às refinarias e fábricas de transformação. É também o mais indicado para fazer chegar os derivados do petróleo e gás natural até aos consumidores.

O transporte tubular veio desempenhar um papel vital na nossa vida diária. Na cozinha e nas limpezas, nos trajetos do dia-a-dia, no transporte aéreo e no aquecimento das nossas casas, é tudo possível graças às redes de distribuição de combustíveis através de tubulações, sendo a única maneira viável de transportar enormes volumes destes líquidos e gases. A utilização deste tipo de transporte permite evitar congestionamentos nas nossas vias marítimas e rodoviárias como também acidentes que nelas possam vir a ocorrer. Em suma, o transporte tubular é prático e seguro (PHMSA, [2009]). O transporte tubular pode assim ser instalado em qualquer meio, qualquer terreno ou ambiente. Para isso existem três tipos de transporte tubular que se podem instalar: terrestre, subaquático e aéreo.

O transporte tubular terrestre consiste num tipo de transporte em que o veículo utilizado compõe a própria infra-estrutura construída, a qual irá permitir a distribuição de, principalmente, produtos petrolíferos a longas distâncias. Isto faz com que seja o meio mais seguro e económico de transporte deste tipo de produtos, interligando regiões produtoras, plataformas, refinarias, terminais marítimos e os centros consumidores. É responsável pela diminuição de tráfego quer nas rodovias como nas ferrovias, aumentando assim a sua segurança e diminuindo a poluição causada pelo tráfego (Dias, 2007).

O transporte tubular subaquático é necessário para o transporte do crude e de gases, desde os poços de petróleo e de gás no mar alto até ao transporte tubular terrestre que posteriormente transporta os produtos para as refinarias ou outras instalações. Eles são bem mais caros e de difícil construção do que os transportes tubulares terrestres. A sua construção geralmente emprega uma embarcação onde os tubos são soldados uns aos outros e conectados às tubagens terrestres. À medida que as secções vão sendo soldadas até à extremidade das tubagens, a embarcação move-se em direção ao poço de petróleo, e as partes do tubo já concluídas são continuamente rebaixadas atrás da embarcação para o mar. A construção prossegue até a embarcação chegar ao poço de petróleo. No mar alto, são utilizados navios em detrimento das embarcações devido às enormes ondas.

O transporte tubular aéreo é concebido para suspender tubagens de largo diâmetro entre um determinado número de torres, espaçadas entre si, entre todos os tipos de terreno e em quaisquer climas. Cada uma das torres possui uma armação em forma de 'A', com um cabo suspenso entre cada uma delas por entre a abertura do meio das pernas da torre. Este cabo tem a finalidade de transportar as condutas tubulares e outros materiais durante a construção, e também de transportar equipas de inspeção e de manutenção, numa fase posterior à construção. As tubagens serão então suspensas a partir das torres e estendidas através da abertura das suas pernas.

## Transporte de petróleo

Existem dois tipos de transporte tubular de petróleo: transportes tubulares para petróleo bruto e para produtos petrolíferos. Enquanto o primeiro transporta o petróleo bruto para as refinarias, o último transporta produtos refinados, como gasolina, querosene, combustível de avião e petróleo para aquecimento, desde as refinarias até ao mercado. Diferentes tipos de petróleo bruto, produtos petrolíferos são geralmente transportados através do mesmo sistema de transporte tubular em diferentes lotes. A mistura entre os lotes é pequena e pode ser controlada. Todo este processo é realizado usando grandes lotes (longas colunas do mesmo tipo de produto), ou colocando uma esfera de borracha cheia de ar entre os lotes para separá-los. O petróleo bruto e alguns produtos petrolíferos transportados através das tubagens contêm uma pequena quantidade de aditivos para reduzir a corrosão interna do tubo e diminuir as perdas de energia. Os aditivos mais frequentemente utilizados para reduzir a corrosão são polímeros, tais como óxidos de polietileno. Os oleodutos utilizam quase exclusivamente tubos de aço sem revestimento externo, mas com uma camada catódica exterior para minimizar a corrosão externa (Liu, 2009). A figura 4 representa todo o percurso que o crude e os produtos petrolíferos efetuam.

## Transporte de gases

Praticamente todos os transportes terrestres de gás natural são feitos através de gasodutos. Para o transporte de gás natural ser feito de outras maneiras, tais como camião ou comboio, seria bem mais perigoso e dispendioso. Embora os gasodutos de recolha e transmissão sejam feitos de aço, a maioria dos gasodutos de distribuição (ou seja, pequenos gasodutos que conectam as principais redes de gasodutos e os consumidores) construídos nos Estados Unidos desde 1980, são feitos de plástico flexível, que são fáceis de estabelecer e não são corrosivos. A figura a seguir representa todo o percurso que é feito pelos gases até chegarem aos consumidores.

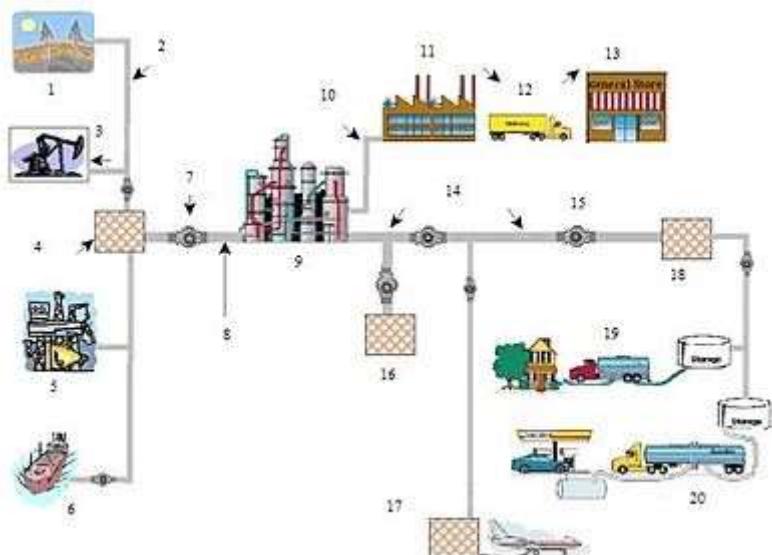


Figura 3 – Transporte tubular para produtos petrolíferos – Fonte: API 5L Specification 2007

Figura Transporte tubular para produtos petrolíferos.

- 1 – Crude proveniente de poços existentes nos solos;
- 2 – Sistemas tubulares;
- 3 – Bomba “alavanca”;
- 4 – Instalações de armazenamento e tratamento de crude;
- 5 – Crude proveniente de plataformas marítimas;
- 6 – Crude transportado por navios tanque (petroleiros);
- 7 – Estação de bombagem;
- 8 – Tubulações de transmissão de crude;
- 9 – Fábricas químicas e refinarias;
- 10 – Químicos e matérias-primas;
- 11 – Fábricas;
- 12 – Entregas de produtos;
- 13 – Vendas a grosso e a retalho;
- 14 – Tubagens de distribuição de produtos refinados;
- 15 – Estações de bombagem;
- 16 – Armazenagem do produto a granel;
- 17 – Instalações de armazenamento para utilização directa, tais como aeroportos;
- 18 – Instalações de armazenamento do produto a granel: terminal de distribuição;
- 19 – Distribuição de produtos petrolíferos para aquecimento de zonas habitacionais;
- 20 – Distribuição local de gasolina.

# Ensaios

## Ensaios mecânicos e químicos:

Os ensaios mecânicos consistem num conjunto de procedimentos normalizados, que permitem caracterizar o comportamento dos materiais quando solicitados a esforços.

Os ensaios químicos consistem em determinar as propriedades da solda e material de base identificando assim qualquer elemento que poderá ser prejudicial devido a aplicação do produto.

## Análise química:

A caracterização química é uma importante ferramenta quando se necessita conhecer a composição de um metal ou liga metálica. Após a identificação de cada componente, é possível quantificar os teores dos elementos de uma determinada liga e, com os resultados obtidos, realizar sua classificação quanto à composição química ou verificar se o material atende a uma determinada especificação técnica.

### **Exemplo:**

Realizada por espectrografia, onde é feita três queimas da amostra e retirada a média e relatada junto com o desvio padrão de cada elemento analisado.

CBH-31	C	Mn	P	S	Cr	Nb	Cu	Mo
Especificado:	0,26 máx	1,20 máx	0,030 máx	0,030 máx	0,50 máx	-	0,50 máx	0,15 máx
Encontrado:	0,15	0,98	0,017	0,011	0,03	0,00	0,01	0,00
Desvio Padrão	0,01	0,01	0,001	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00
Incerteza	±0,03	±0,03	±0,004	±0,006	±0,02	±0,01	±0,01	±0,01

Amostra	Concentração dos Elementos em (%) (continuação)							
CBH-31	Ni	Si	Ti	V	B	Al	Nb+V	Nb+V+Ti
Especificado:	0,50 máx	-	-	-	0,001 máx	-	0,06 máx	0,15 máx
Encontrado:	0,01	0,20	0,00	0,02	0,000	0,01	0,02	0,02
Desvio Padrão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00
Incerteza	±0,01	±0,03	±0,01	±0,01	±0,001	±0,00	-	-

Tabela 4 - Ensaio em uma chapa ASTM A36 realizado por espectrometria por Douglas A. de O. Gomes

## Dobramento:

### **Características**

O ensaio de dobramento consiste em submeter um corpo de prova a uma deformação plástica por flexão. O corpo de prova, assentado sobre dois apoios afastados a uma distância especificada, é dobrado por intermédio de um cutelo, que aplica um esforço de flexão no centro do corpo, até que seja atingido o ângulo de dobramento especificado

A severidade do ensaio aumenta com a redução do diâmetro do cutelo; geralmente esse diâmetro é função do diâmetro do corpo de prova ou da espessura dele.

Outro parâmetro que determina a severidade do ensaio é o ângulo de dobramento que é geralmente de 90°, 120° ou 180°.

## Aplicação

Embora forneça apenas resultados qualitativos, o ensaio de dobramento é um meio bastante simples e eficaz para detectar problemas metalúrgicos e de compacidade que podem afetar o comportamento dos materiais em serviço.

Devido a sua relativa simplicidade, o ensaio de dobramento é largamente utilizado nas indústrias e laboratórios com o objetivo de verificar a capacidade de deformação dos materiais, na detecção de defeitos de compacidade e metalúrgicos e para obter valores comparativos de ductilidade dos materiais.

Os parâmetros do ensaio, tais como dimensões do corpo de prova, distância dos apoios, diâmetro do cutelo, ângulo de dobramento e os critérios de aceitação são definidos por normas ou códigos de fabricação.

## Corpo de prova

No ensaio de dobramento, um lado do corpo de prova é tracionado enquanto o lado oposto é comprimido. O corpo de prova pode ser retirado dos produtos acabados ou pode ser o próprio produto, como por exemplo, parafusos, pinos, barras que apresentem dimensões adequadas para serem colocados na máquina de dobramento.

Para analisar o resultado do ensaio, examina-se a olho nu a zona tracionada do corpo de prova; para ser aprovado, o corpo de prova não deve conter trincas ou descontinuidades acima de um determinado valor especificado. O resultado do ensaio é considerado reprovado se o corpo de prova apresentar estes defeitos ou se romper antes de atingir o ângulo a especificado

## Métodos de dobramento

O ensaio de dobramento pode ser feito segundo três métodos: dobramento livre, dobramento semi-guiado e dobramento guiado.

O dobramento livre é realizado de forma que a força aplicada atua nas extremidades do corpo de prova e não no ponto onde ocorre o dobramento máximo.

O dobramento semi-guiado é realizado de tal modo que uma das extremidades do corpo de prova fica presa e a outra sofre a aplicação de força; a força também pode ser aplicada em outro local do corpo de prova.

O dobramento guiado é feito por meio de rolos de apoio e punção. Para evitar que o corpo de prova sofra esforços indevidos de tracionamento, o que implicaria maior severidade do ensaio, deve-se diminuir ao máximo o atrito entre o corpo de prova e os rolos de apoio, utilizando boa lubrificação.

A velocidade do ensaio não constitui um fator de relevância, desde que o ensaio não seja realizado com uma velocidade extremamente alta que possa enquadrá-lo em ensaios dinâmicos.

## **Tipos de dobramento**

O ensaio de dobramento em corpo de prova soldado pode ser dividido em vários tipos: dobramento lateral transversal, transversal de face, transversal de raiz, longitudinal de face e longitudinal de raiz.

Os diversos tipos de dobramento são realizados normalmente para qualificação de soldador e qualificação do procedimento de soldagem; os respectivos corpos de prova são previstos em normas e códigos de construção soldada, como por exemplo o código ASME, secção IX; o método utilizado é o dobramento guiado.

Os dispositivos de dobramento utilizados podem compor uma peça única ou peças separadas. Em ambos os casos, a distância entre os apoios é pré-determinada em função do diâmetro do cutelo e da espessura do corpo de prova a ser dobrado. Na execução do ensaio, o corpo de prova é centralizado entre os apoios enquanto o cutelo é pressionado contra a peça a ser dobrada.

Numa junta soldada de pequena espessura, são retirados corpos de prova para dobramento transversal de face e de raiz; para espessuras maiores são utilizados corpos de prova para dobramento lateral transversal.

Os dobramentos longitudinais são utilizados como alternativa para os transversais quando os materiais de base soldados possuem resistências mecânicas muito diferentes.

**Dobramento transversal de face:** O eixo longitudinal do cordão de solda forma um ângulo de 90° em relação ao eixo longitudinal do corpo de prova a ser dobrado. Nesse caso, o dobramento será realizado de maneira que uma das superfícies laterais do corpo de prova, onde a solda está cortada de topo, torne-se convexa em relação ao corpo de prova dobrado.

**Dobramento transversal de raiz:** O eixo longitudinal do cordão de solda forma um ângulo de 90° com o eixo longitudinal do corpo de prova a ser dobrado. Nesse caso, o dobramento é realizado de maneira que a superfície do corpo de prova que contém a raiz da solda se torne a superfície convexa do corpo de prova dobrado.

**Dobramento longitudinal de face:** O eixo da solda é paralelo ao eixo longitudinal do corpo de prova. Nesse caso, o dobramento é realizado de modo que a superfície do corpo de prova que contém a face da solda se torne a superfície convexa do corpo de prova dobrado.

**Dobramento longitudinal de raiz:** O eixo longitudinal do cordão de solda é paralelo ao eixo longitudinal do corpo de prova a ser dobrado. Nesse caso, o dobramento é realizado de maneira que a superfície do corpo de prova que contém a raiz da solda se torne a superfície convexa do corpo de prova dobrado.

## **Equipamento**

Para a realização do ensaio de dobramento é necessária uma prensa com capacidade relacionada à dimensão do corpo de prova a ser dobrado e com facilidade de fixação dos dispositivos adequados; no entanto, é comum a utilização de máquinas de ensaio do tipo universal, projetadas de maneira a permitir a realização desse ensaio.

## **Avaliação dos resultados**

A avaliação dos resultados é feita por meio de normas; por exemplo, a norma ASME, secção IX, item QW-163, especifica que o ensaio é aceitável se não ocorrem trincas e descontinuidades maiores que 3,2mm, na solda ou entre a zona de ligação, medidos em qualquer direção. Trincas com origem a partir das bordas do corpo de prova ensaiado devem ser desconsideradas, a menos que evidenciem a presença de outras descontinuidades.

### **Exemplo:**

ENSAIO DE DOBRAMENTO GUIADO							
Amostra		Dimensões (mm)	Diâm. Cutelo (mm)	Distância entre roletes (mm)	Ângulo de dobramento (°)	Resultados obtidos	Laudo
SAZ-63	DF	9,53X38X300	76	100	180	Isento de Descontinuidade	Aprovado
	DR	9,53X38X300	76	100	180	Isento de Descontinuidade	Aprovado
SAZ-64	DF	9,53X38X300	76	100	180	Isento de Descontinuidade	Aprovado
	DR	9,53X38X300	76	100	180	Isento de Descontinuidade	Aprovado

Tabela 5 - Ensaio de dobramento conforme ASME IX, QW-163, realizado em um corpo de prova para validação de um lote de tubos de Ø32 x 9,53 mm

## **Ensaio de Tração**

### **Introdução**

Dentre os ensaios destrutivos de materiais, o ensaio de tração tem grande importância, com esse ensaio podemos obter algumas características de um determinado material; como por exemplo, valores para o cálculo da resistência do corpo de prova. Além disso, o ensaio fornece informações sobre as propriedades de deformação de um material.

Os resultados obtidos nos testes de tração são importantes, por exemplo, a preparação e o processo de execução do teste, devem ser controlados para garantir um padrão de reprodução na execução do ensaio.

Portanto, todos os parâmetros possíveis que possa influenciar na execução do ensaio de tração deverá ser verificado, por exemplo, o tipo de equipamento de ensaio, a forma do corpo de prova. Isto só é possível pela aplicação de padrões estabelecidos pelas normas correspondentes.

O ensaio de tração consiste em aplicar uma força uniaxial no material, tendendo-o a alongá-lo até o momento de sua fratura. Os CPs (corpos de prova) na maioria das vezes são circulares podendo também serem retangulares. O corpo de prova (sempre padronizado por normas técnicas) é fixado pelas suas extremidades nas garras de fixação da máquina de tração. O corpo de prova é então submetido a um esforço, aplicando uma carga gradativa e registrando cada valor de força correspondente a um diferente tipo de alongamento do material (alongamento este medido por um extensômetro como mostra a figura). O ensaio termina quando o material se rompe. Para efeitos de reduzir as diferenças entre as dimensões de diferentes corpos de prova, utiliza-se o conceito de tensão convencional ou tensão de engenharia definido por:

$$\sigma = F / A_0$$

Onde, temos que:

-  $F$  = Força aplicada

-  $A_0$  = Área da seção transversal do corpo (antes da aplicação da carga)

Já a deformação sofrida pelo Cp pode ser calculada em função do alongamento sofrido durante o ensaio.

$$\epsilon = (L_f - L_0) / L_0$$

-  $L_f$  = Comprimento final

-  $L_0$  = Comprimento inicial

Os resultados obtidos através do ensaio de tração são “plotados” (fornecidos pela própria máquina de ensaio) em um gráfico chamado de tensão x deformação ( $\sigma \times \epsilon$ ).

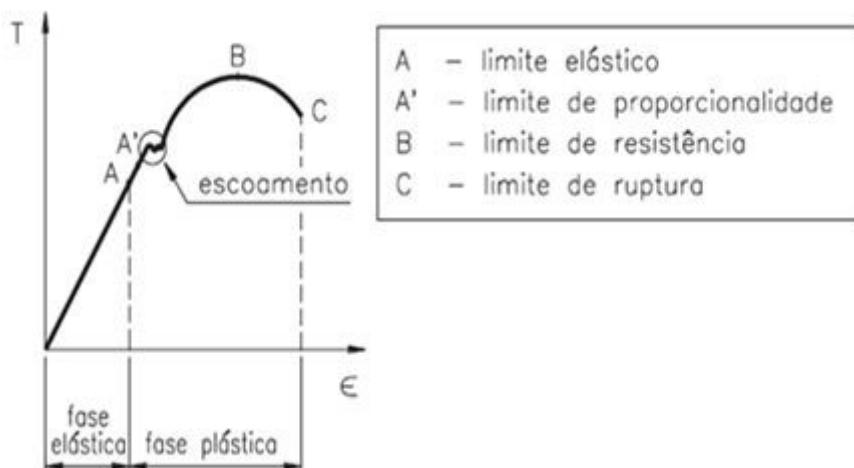


Figura 4 – Diagrama Tensão x Deformação – Fonte: Controle de Ensaios

A partir da análise do diagrama Tensão x Deformação, podemos destacar pontos importantes que merecem ser estudados.

Fase elástica: É a fase na qual o material recupera suas dimensões originais após a retirada dos esforços externos sobre ele. A fase elástica obedece a Lei de Hooke representada algebricamente por  $\sigma = E \cdot \epsilon$ . O "E" representado na fórmula são denominados de módulo de elasticidade ou módulo de Young. É a resistência mecânica do material ou rigidez. O módulo de elasticidade pode ser obtido através da inclinação da reta na fase elástica.

Limite de Proporcionalidade: É o limite no qual as tensões são diretamente proporcionais as deformações.

Escoamento: Início da deformação plástica, consiste propriamente dito em um grande alongamento do material sem acréscimo significativo de carga, com oscilações na velocidade de deformação.

Fase plástica: É a fase a partir do qual o material sofre uma deformação permanente (não consegue recuperar suas dimensões originais após a retirada das cargas).

Limite de resistência: Corresponde à máxima tensão que o material suporta sem romper-se. É calculada por:

$$LR = F_{\max} / S_o$$

-  $F_{\max}$  = Carga máxima aplicada no material

-  $S_o$  = Área da seção inicial do corpo de prova.

Limite de ruptura: Correspondente ao ponto de fratura do material.

É importante saber que quando o material é submetido a uma tensão máxima suportada, logo em seguida observamos um decréscimo de carga, ou seja, o limite de ruptura é inferior ao limite de resistência, uma vez que o material sofre uma redução de sua área, denominado de estrição. A estrição pode ser calculada pela redução percentual de área (RA%) por:

$$RA\% = (A_o - A_f) / A_o$$

Onde;

-  $A_o$  = Área da secção transversal inicial do material

-  $A_f$  = Área da secção transversal final do material

A figura abaixo demonstra duas características importantes de um corpo que foi ensaiado por tração; seu alongamento e sua redução de área.

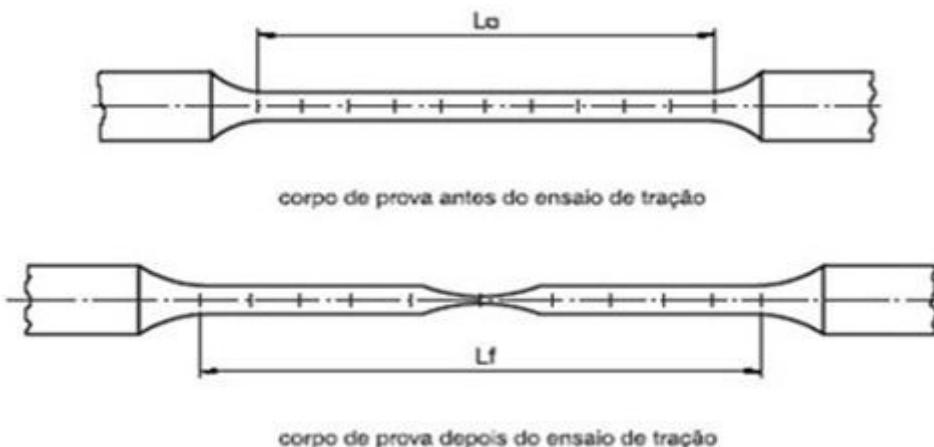


Figura 5 – Demonstração do corpo de prova antes e depois do ensaio de tração – Fonte: Controle de ensaios

**Exemplo:**  
Ensaio de Tração

Identificação	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima		Tensão (Mpa)	Local da Ruptura	Ladu o
				Kgf	(N)			
T1-1	25,9	20,5	531,0	27,05	265,3	500	Metal Base	A
T1-2	25,8	20,5	533,4,	26,85	263,3	498	Metal Base	A
T1-3	26,6	20,7	538,9	28,57	280,2	509	Metal Base	A
T1-4	26,5	20,6	528,7	27,48	269,6	494	Metal Base	A

Tabela 6 – Resultados de um ensaio de tração de uma chapa ASTM A36

**Macrografia:**

Consiste no exame do aspecto de uma superfície plana seccionada de uma peça ou amostra metálica, devidamente polida e atacada por um reagente adequado. Por seu intermédio tem-se uma ideia de conjunto, referente à homogeneidade do material, à distribuição e natureza de falhas, impurezas; ao processo de fabricação. Para a macrografia o aço é o material de maior interesse. Algumas das heterogeneidades mais

- comuns nos aços são as seguintes:

- vazio, causado pelo resfriamento lento;
- segregação, causadas pelas impurezas e outros metais;
- dendritas, formação de grãos de vários tamanhos;
- trincas, devido às tensões excessivas no resfriamento.

**Técnica macrográfica** – o primeiro passo consiste em saber qual o fim visado e o que se deseja obter. Para isto necessita-se de um corpo de prova escolhido e preparado com critério. A técnica do preparo de um corpo de prova de macrografia abrange as seguintes fases:

**Escolha e localização a ser estudada**, a qual ficará a critério do analista, que será guiado na sua escolha pela forma, pelos dados que se quer obter e por outras considerações da peça em estudo.

Um corte transversal permitirá verificar:

- a natureza do material (aço, ferro fundido);
- seção homogênea ou não;
- forma e intensidade da segregação;
- posição, forma e dimensões das bolhas;
- forma e dimensões dos dendritas;
- existência de restos do vazio;
- profundidade da témpera, etc.

Um corte longitudinal será preferível quando se quiser verificar:

- se uma peça é fundida, forjada ou laminada;
- se a peça foi estampada ou torneada;
- solda de barras;
- extensão de tratamentos térmicos superficiais. Etc.

**Preparação de uma superfície plana e polida na área escolhida –**  
Compreende duas etapas:

a) O corte que é feito com serra ou com cortador de disco abrasivo adequado; quando este meio não é viável, recorre-se ao desbaste, que é praticado com esmeril comum até atingir a região que interessa. Todas estas operações deverão ser levadas a cabo com o devido cuidado, de modo a evitar encruamentos locais excessivos, bem como aquecimento a mais de 100°C em peças temperadas, pois estes fenômenos seriam mais tarde postos em evidência pelo ataque, adulterando a conclusão do exame.

b) O polimento é iniciado com lixa, em direção normal aos riscos já existentes; passa-se sucessivamente para lixa de granulação mais fina, sempre mudando a direção de 90°. Deve-se tomar cuidados especiais para não arredondar as arestas dos corpos de prova. Após cada lixamento a superfície deve ser cuidadosamente limpa a fim de que o novo lixamento não fique contaminado com resíduos do lixamento anterior.

Neste estágio, a superfície denota por vezes algumas particularidades tais como:

- restos do vazio;
- trincas, grandes inclusões;
- porosidades, falhas em soldas.

**Ataque da superfície preparada** – Para pôr em evidência outras heterogeneidades, é indispensável proceder-se a um ataque comparativo químico. De acordo com o material e com a finalidade do exame, têm-se diversos reativos:

- reativo de iodo;
- reativo de ácido sulfúrico;
- reativo de ácido clorídrico;
- reativo Fry;
- reativo Heyn.

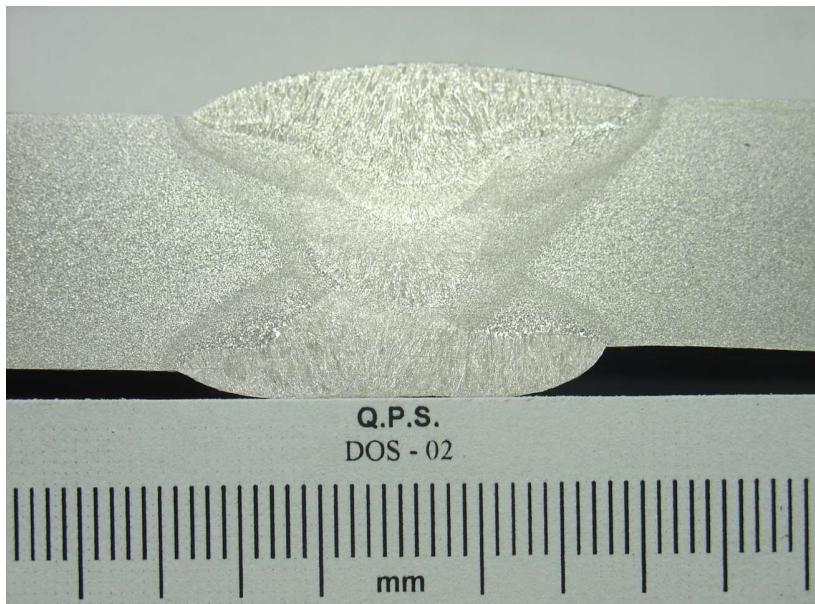


Figura 6 – Foto de uma macrografia – Fonte: Douglas A. de o. Gomes

# Melhorias do processo

## Fluxo

Alguns fabricantes já fornecem fluxos com o máximo de segurança relacionado a integridade na soldagem. O hidrogênio no metal de solda é a maior ameaça para obtenção de uma solda com qualidade. Os níveis elevados de umidade no fluxo devem ser evitado a qualquer custo. Desde fluxos são higroscópico ressecagem é geralmente recomendado. Os resultados de re-secagem depende da utilização dos parâmetros de secagem apropriados e no controle de umidade. Os parâmetros recomendados pelos produtores de fluxo geralmente não irão restaurar os níveis de umidade originais.

Consequentemente, a prevenção da absorção de umidade é extremamente importante. A fim de proteger o fluxo contra a absorção de umidade a partir do ar durante o armazenamento e transporte, se aplica ao fabricante Hobart que utiliza a embalagem à prova de umidade com as seguintes opções:

### Embalagem - saco de EAE

Para os sacos de peso padrão, a solução Hobart fica a 5 camada de polietileno rígida soldada - saco de papel alumínio. O material de embalagem é resistente a qualquer transferência de H<sub>2</sub>O. Além Hobart aplica EAE (excesso de Evacuação Aérea). Cada saco passa um processo em que o excesso de ar é evacuado, criando uma atmosfera de pressão reduzida no saco. Como resultado umidade é drasticamente reduzido e os produtos armazenados abertos podem ser usados sem ressecagem.

### Embalagem - DoubleBag

Para embalagens a granel utilizasse de um saco exterior feito de polipropileno com um revestimento de polietileno-alumínio no interior. O material de embalagem é resistente a qualquer transferência de H<sub>2</sub>O.

Após o enchimento, a abertura é soldada. As propriedades de umidade do saco duplo são, basicamente, as mesmas que para o Saco de EAE. A umidade é drasticamente reduzida e produtos armazenados em sacos já abertos podem ser usados sem ressecagem.

A parte inferior da DoubleBag apresenta de 400 mm (16") bico de descarga de comprimento, equipada com um bloqueio patenteado dispositivo para controlar facilmente e parar o fluxo de fluxo.

Dois grandes benefícios para o usuário

1. fluxo a seco significa soldagem segura. A eliminação da umidade nas marcas acima citadas garantem a umidade perto dos níveis ideais de produção.

2. Ressecagem é um procedimento caro, considerando a administração, o consumo de energia, tratamento do operador e investimento em equipamentos envolvidos. Sua eliminação da cadeia de produção economiza tempo e dinheiro, ao mesmo tempo apoiar o meio ambiente, reduzindo as emissões de consumo de energia. Além disso, não há nenhum risco de aumentar o teor de poeiras por manuseamento do fluxo em um processo de ressecagem.

Finalmente, a eficácia de ressecagem depende altamente do processo. Quando a temperatura de ressecagem é demasiada baixa ou quando o fluxo permanece em um tempo inferior do que o ideal na estufa, o nível de umidade não pode ser suficientemente reduzido. Isto é difícil determinar, como sofisticados equipamentos de laboratório é necessária para testar o nível de umidade real do fluxo.

### **Tecnologia no sistema de onda CA (Corrente contínua)**

Tecnologia de onda quadrada em fontes de energia de soldagem é baseado em qualquer conversor ou tecnologia de tiristores para controlar a forma de onda. Ambas as tecnologias permitem mudar a relação CA + / CA- (= saldo onda CA), mas há diferenças na forma como este é realizado. Em geral, os inversores oferecem total liberdade na + / CA- em relação CA e configurações de frequências de onda de corrente alternada, enquanto os ajustes de frequência de onda tiristor controladas são derivados a partir da rede de frequência líquida.

Atualmente

Tiristor controlador de onda quadrada direita: Pode-se alterar a forma de onda.

Equilíbrio onda AC

A aplicação da onda quadrada CA Ambos CD (Corrente Direta) + e Ca sinusoidal convencional são amplamente aplicados em sistemas de soldagem a arco submerso, oferecendo qualidade e produtividade de solda em qualquer tipo de fabricação. O uso de equilíbrio onda Ca deve ser visto como um próximo passo na otimização de soldagem a arco submerso, superando limitações específicas ao abrir novas possibilidades.

Restrições de CA sinusoidal convencional são:

- Tempo gasto na área de cruzamento de zero afeta começo arco e estabilidade do arco negativamente
- Baixa percentagem de tempo gasto em conjunto amperagem diminui a produtividade
- relação CA + / CA- é fixada em 50/50 Restrições de tradicional CD + são:

Equilíbrio na onda CA

Tecnologia de onda quadrada CA tem duas principais vantagens nas propriedades:

- a forma de bloco onda CA e a variável CA no balanço das ondas. Devido à forma de bloco, os passes atuais através da área de cruzamento em milésimos de segundo, resultando em boas largadas de arco e estabilidade e mais tempo de permanência no set atual.

## O equilíbrio de onda de CA

CA variável faz com que seja possível alterar a percentagem de CA + CA-contra a qualquer razão desejada e, assim, influenciar a penetração e taxa de deposição. Aumentar a cota + (positiva) dará uma penetração mais profunda e deposição reduzida, enquanto o aumento da cota – (negativada) irá fazer o oposto.

Essa nova tecnologia disponibiliza ao operador de soldagem a possibilidade de alcançar nos níveis de alto rendimento e qualidade, pois desde que essas possibilidade de alteração da onda seja entendida e aplicada com eficácia, a execução da soldagem terá a tendência de uma obter uma maior taxa de deposição com um maior sanidade do metal de solda.

## Projeto da junta

O projeto da junta é um item a ser considerado e estudado a fundo, pois o mesmo influência na taxa de deposição e tempo gasto na soldagem, aumentando ou diminuindo os custos da soldagem.

Abaixo segue croqui e volume em  $\text{mm}^3$  da junta atual utilizada para a fabricação das tubulações:

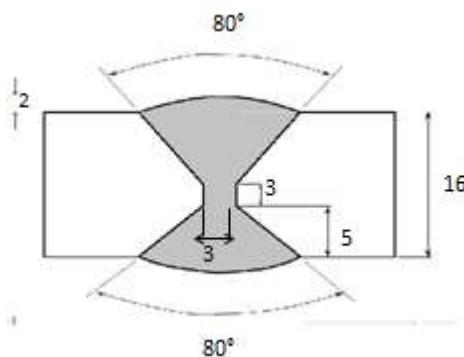
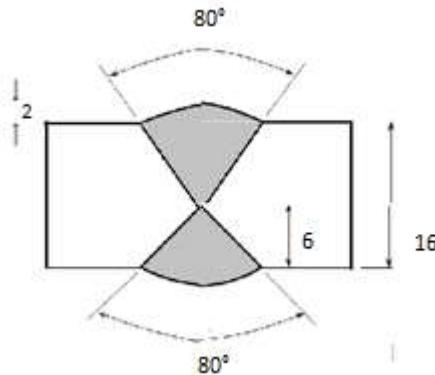


Figura 7 – Croqui da junta atual; Fonte: Deivid Pinho

$$\text{Volume} = 176 \text{ mm}^3$$

Agora, segue abaixo o croqui da mesma junta, mas com modificações que resultaram em uma diminuição de aproximadamente 30% no volume total:



Volume = 128 mm<sup>3</sup>

Figura 8 – Croqui da junta soldada ; Fonte: Deivid Pinho

## Conclusão

As propostas citadas acima, mostram que a fabricação de tubulações com costura pelo processo SAW, é capaz de estar sendo aperfeiçoado e obtendo as melhorias mencionadas.

O avanço tecnológico, tanto na aplicação nos consumíveis e tanto nos equipamentos de soldagem e a maior vertente que influência as melhorias e o aumento da possibilidade de aplicação e viabilidade do processo de arco submerso.

Com passar dos anos e descoberta de novas fontes naturais de petróleo e gás, as matérias-primas utilizadas na fabricação dos tubos API evoluíram com o intuito de formar ligas ARBL (Alta resistência e baixa liga), cada vez mais resistentes diminuindo o peso do tubo. Com descobertas de fontes cada vez menos acessíveis em lugares que exigem extrema pressão, a tecnologia empregada nessas ligas exige máquinas capacitadas de alto nível e que atendam às necessidades de cada fonte de petróleo ou gás existentes, os fornecedores trabalham para implantar no mercado chapas que atendam a norma API 5L X120, tubulações resistentes inclusive a condições severas de frio. A tecnologia de soldagem deve acompanhar as evoluções e fornecer máquinas de soldagem cada vez mais produtivas e de fácil manejo, existe grande necessidade de linhas de tubos que supram extremas e elevadas pressões e a otimização dos processos é essencial para atender a demanda que se alastra diante as novas descobertas do mercado.

# Bibliografia

Título da Referencia	Resumo	Autor
Esab - Arco Submerso	Livro introduz noções detalhadas sobre o processo, toda a parametrização, vantagens e desvantagens do processo.	Esab
MIG-MAG	Apostila sobre parametrização e operação de soldas mig-mag, Introdução a diversas maquinas e faixas de operação e também catalogo técnico explicativo	André Vigorito Trento Filipe Catini Paro Vinicius Rodrigues Suzukayama
API SPECIFICATION 5L FORTY-FIFTH EDITION, DECEMBER 2012	Especificação e requesitos gerais das normas API 5L	American Petroleum Institute
WELDING BRAZING AND SOLDERING	HANDBOOK DE SOLDAGEM, BRASAGEM E SOLDA	AMERICAN SOCIETY FOR METALS
TECNICA OPERATÓRIA DE SOLDAGEM SAW	TRABALHO PRÁTICO A TECNICA DE SOLDAGEM SAW	PAULO JOSÉ MODENESI - UFMG
Norma API.1104	Especificação dos ensaios para tubulação API	API STANDARD 1104
Tubulação Industrial	Desenvolvimento das Tubulações em areas urbanas e em obras	METALICA S. A.