



Seu parceiro em
Soldagem e Corte

ARAMES TUBULARES OK



ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS ARAMES TUBULARES OK	4
TIPOS DE ARAMES TUBULARES OK.....	9
O PROCESSO DE SOLDAGEM COM ARAMES TUBULARES OK	26
MODOS DE TRANSFERÊNCIA DO METAL DE SOLDA.....	30
APLICAÇÕES DE ROBÓTICA	37
QUALIDADE DO METAL DE SOLDA	43
DICAS OPERACIONAIS.....	52
TÉCNICAS DE SOLDAGEM.....	71
RECOMENDAÇÕES	79
DEFEITOS NA SOLDAGEM – CAUSAS E SOLUÇÕES.....	81
DADOS PRÁTICOS DE SOLDAGEM	84
ESPECIFICAÇÕES ASME / AWS	90
BIBLIOGRAFIA	101

*Elaborado, traduzido (parte) e adaptado por
Cleber Fortes – Engenheiro Metalúrgico, M.Sc.
Assistência Técnica Consumíveis – ESAB BR*

*Revisado por
Welerson Araújo – Engenheiro Metalurgista, M.Sc.
Desenvolvimento e Pesquisa – ESAB BR*

Última revisão em 7 de maio de 2004

Introdução

Os arames tubulares OK foram desenvolvidos principalmente para atender à necessidade de as empresas manterem sua competitividade, através do aumento da produtividade e da redução de custos.

Arames tubulares com gás de proteção para a soldagem de aços carbono foram desenvolvidos no início da década de 50, e tornaram-se comercialmente disponíveis em 1957. Nas décadas de 60 e 70 foi observado um substancial crescimento desse processo nos Estados Unidos, o mesmo ocorrendo no Japão na década de 80. Em 1991 a ESAB Brasil incorporou em sua fábrica uma unidade de produção de arames tubulares OK, e em 2003 foi instalada sua terceira unidade.

Esse processo foi desenvolvido para combinar as melhores características da soldagem por arco submerso e a soldagem empregando o dióxido de carbono (CO₂) como gás de proteção. A combinação dos ingredientes do fluxo no núcleo do arame tubular aliada à proteção externa proporcionada pelo CO₂ produz soldas de alta qualidade e um arco estável com um baixo nível de respingos. Inicialmente esses arames estavam disponíveis somente em grandes diâmetros (2,0 mm a 4,0 mm) e eram empregados nas posições plana e horizontal na soldagem de peças pesadas. Em 1972 foram desenvolvidos arames tubulares de pequeno diâmetro, constituídos de fluxo não metálico (*flux-cored wires*), para a soldagem em todas as posições, e isso aumentou sobremaneira o campo de aplicações para os arames tubulares.

Arames tubulares autoprotetidos (*self-shielded wires*) tornaram-se disponíveis logo após a introdução dos arames tubulares com gás

de proteção externa, e ambos ganharam larga aceitação para aplicações específicas na indústria.

Na soldagem com arames tubulares são empregados invólucros metálicos com um pó em seu interior em vez de arames sólidos para unir metais ferrosos. O fluxo em seu interior pode conter minerais, ferros-liga e materiais que forneçam gases de proteção, desoxidantes e materiais formadores de escória. Os ingredientes do fluxo promovem estabilidade ao arco, influenciando nas propriedades mecânicas do metal de solda, bem como no perfil da solda. Muitos arames tubulares são desenvolvidos para serem usados com uma proteção externa adicional. Os gases ricos em CO_2 são os mais comuns. O metal de solda pode ser depositado a taxas de deposição maiores, e os cordões de solda podem ser mais largos e com melhor perfil do que os produzidos com arames sólidos, mesmo tendo como gás de proteção o CO_2 .

O processo de soldagem empregando arames tubulares OK Tubrod® com gás de proteção externa é utilizado principalmente na soldagem de aços carbono e de baixa liga, produzindo altas taxas de deposição, alta eficiência de deposição e altos fatores operacionais. Juntas soldadas com qualidade radiográfica são facilmente produzidas e o metal de solda, tanto para aços carbono, de baixa liga ou inoxidáveis, apresenta boa ductilidade e tenacidade. Esse processo de soldagem é adequado a uma grande variedade de juntas e para todas as posições de soldagem.

Outra família de arames tubulares OK é a autoprotégida. Esses arames foram desenvolvidos para gerar gases de proteção a partir de adições no fluxo, de modo similar aos eletrodos revestidos. Arames tubulares OK autoprotégidos não exigem proteção gasosa externa e podem ser aplicados tanto com corrente contínua eletrodo positivo (CC+) como com corrente contínua eletrodo negativo (CC-). Arames tubulares OK autoprotégidos podem ser empregados sob ventos moderados com perturbações mínimas na atmosfera protetora em torno do arco. Também estão disponíveis arames tubulares OK Tubrodur®

para placagem, recuperação de equipamentos rodantes e manutenção de equipamentos.

Adicionalmente, os arames tubulares OK mais modernos apresentam um teor de hidrogênio difusível muito baixo e uma alta resistência à reabsorção de umidade, reduzindo, com isso, os custos com ressecagem.

Os fabricantes que utilizam arame sólido cobreado necessitam de argumentos mais convincentes, já que se concentram basicamente no maior preço do arame tubular. No entanto, empregando-se programas mais avançados e modernos de cálculo dos custos da soldagem, freqüentemente prova-se que a diferença de preço do consumível é mais do que compensada pelos ganhos de produtividade, especialmente quando predomina a soldagem nas posições plana e horizontal. Outros argumentos que suportam o uso de arames tubulares OK em substituição a arames sólidos são o risco reduzido de defeitos de falta de fusão lateral, maior penetração, menos respingos e uma menor probabilidade de ocorrência de porosidade.

Capítulo 1

O processo de fabricação dos arames tubulares OK

A matéria prima empregada para a fabricação dos arames tubulares OK constitui-se de uma fita metálica enrolada na forma de uma bobina e de um pó com formulações específicas, denominado fluxo. A fita metálica é alimentada continuamente, sendo deformada por roletes, fazendo com que sua seção reta tome o formato de uma canaleta ("U") para receber a adição do fluxo através de um silo de alimentação. Após a adição do fluxo, a fita passa pelos roletes de fechamento, onde a seção reta toma o formato de um tubo, com o fluxo em seu interior (veja a Figura 1).

O material da fita não precisa reproduzir exatamente a composição requerida para o metal de solda, já que os elementos de liga podem ser adicionados ao fluxo do arame tubular conforme a conveniência. Quando o teor total de elementos de liga for alto, entretanto, restrições de espaço no tubo podem obrigar ao uso de uma fita ligada.

A fabricação de arames tubulares requer controles precisos. Como o metal de solda é uma combinação da fita metálica e dos componentes do fluxo, ambos devem ser cuidadosamente verificados quanto às dimensões e à composição química antes do início da fabricação.

Como o espaço no interior do arame tubular é limitado, a granulometria dos componentes do fluxo torna-se muito importante, de tal modo que as partículas de pó se acomodem entre si. Os ingredientes

do fluxo devem ser bem misturados para evitar segregação dos componentes antes da fabricação.

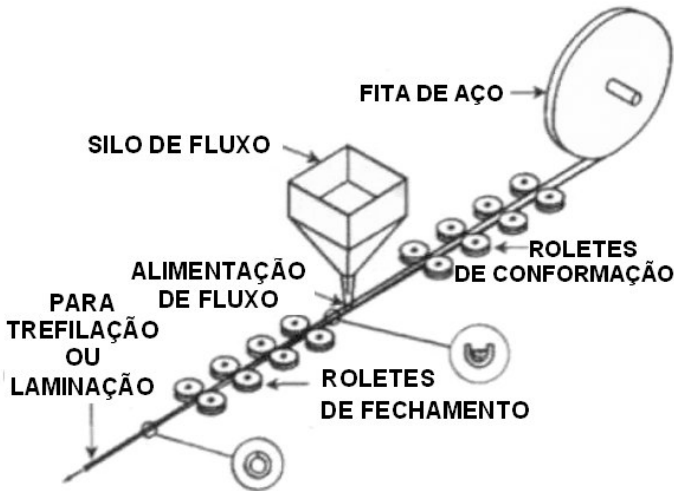


Figura 1 - Processo de fabricação de arames tubulares OK

Após passar pelas etapas iniciais de adição do fluxo e fechamento do tubo, o arame tubular OK é levado até sua dimensão final por meio de um processo mecânico de redução de diâmetro, ou seja, por laminação ou por trefilação (veja a Figura 2).

Arames tubulares OK trefilados requerem lubrificação de sua superfície, porém o lubrificante residual deve ser removido através de secagem num forno. O efeito colateral da secagem é o aparecimento de uma camada de óxido de coloração escura.

Por sua vez, arames tubulares OK laminados necessitam de uma quantidade mínima de lubrificante, de modo que não há necessidade de uma secagem posterior. Esses arames podem ter um aspecto superficial escuro ou brilhante, conforme tenham ou não sido secados no forno.

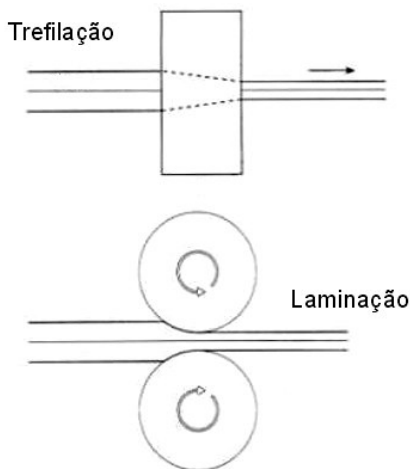


Figura 2 - Processos de conformação final de arames tubulares OK

Dessa forma, os arames tubulares OK podem ter um aspecto superficial brilhante ou escuro, conforme seu processo de fabricação. É importante destacar que a qualidade do metal depositado independe do aspecto superficial do arame tubular OK.

Durante a fabricação dos arames tubulares OK é realizado um controle preciso para assegurar que não ocorrerão espaços vazios ao longo de seu núcleo. Além disso, a superfície dos arames tubulares OK é lisa e livre de contaminantes que possam causar efeitos deletérios na alimentação do arame e na passagem da corrente elétrica para o arame tubular durante a soldagem.

Os arames tubulares OK são também cuidadosamente enrolados em carretéis ou barricas para que não ocorram excentricidades ou dobras. Os carretéis são normalmente embalados em sacos plásticos com um material dessecante para absorver a umidade que porventura possa estar no interior da embalagem. Esse conjunto é então colocado em uma caixa de papelão para proteção durante o transporte e para facilitar o empilhamento.

Seções transversais dos arames tubulares OK

Fechamento de topo

Este tipo de fechamento predomina na linha de arames tubulares OK Tubrod[®] para aços carbono e aços de baixa liga, com percentuais de fluxo variando entre 18% e 33%, dependendo do diâmetro do arame tubular (veja a Figura 3).

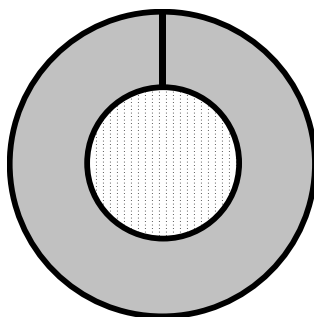


Figura 3 - Fechamento de topo

Fechamento por sobreposição

Este tipo de fechamento predomina na linha de arames tubulares OK Tubrod[®] para aços inoxidáveis e OK Tubrodur[®] para revestimento duro, com percentuais de fluxo variando entre 30% e 50%, dependendo do diâmetro do arame tubular, sendo o fluxo constituído principalmente por agentes formadores de escória, gases e elementos de liga (veja a Figura 4).

A parede mais fina da fita de metal tem a vantagem de apresentar densidades de corrente maiores e portanto maiores taxas de deposição.

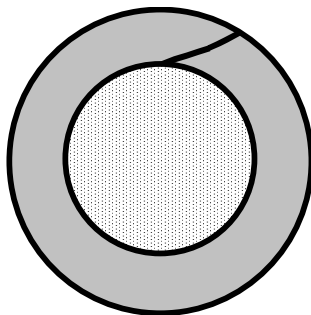


Figura 4 - Fechamento por sobreposição

Capítulo 2

Tipos de arames tubulares OK

Na soldagem com gás de proteção empregando arames tubulares com fluxo não metálico (*flux-cored wires*), os agentes do fluxo ou formadores de escória que constituem a parte não metálica do pó têm que desempenhar diversas funções. Tem sido difundido que o fluxo proporciona uma proteção secundária adicionalmente à do gás de proteção. Na realidade, essa assertiva foi exagerada para materiais ferríticos, como mostram os mais recentes desenvolvimentos dos arames tubulares metálicos (*metal-cored wires*). O que o fluxo pode fazer é controlar ou ajustar o teor de oxigênio do metal de solda, aumentando-o ou diminuindo-o conforme as necessidades de cada aplicação.

Da mesma forma que nas escórias resultantes da fabricação dos aços, algumas escórias de solda são capazes de remover certas impurezas como o enxofre do metal fundido, porém com a boa qualidade dos aços modernos essa capacidade tem sido menos necessária do que no passado. Mais importantes são as características da escória, que pode moldar e suportar o metal de solda ou ajudá-lo a molhar o metal de base. Dizemos que um consumível apresenta uma boa molhabilidade quando ele é capaz de se misturar facilmente à parcela do metal de base fundido, aumentando a diluição.

Alguns componentes não metálicos do pó não são formadores de escória, contudo servem para estabilizar o arco ou para controlar as características de queima do arame. Tais ingredientes podem estar presentes mesmo nos arames tubulares metálicos. Nos arames tubulares com fluxo não metálico os componentes estabilizadores do arco

devem ser selecionados de tal modo que os resíduos remanescentes não prejudiquem a formação da escória.

Funções dos componentes do fluxo

Cada fabricante de arames tubulares possui suas fórmulas próprias para os componentes do fluxo. A composição do fluxo pode ser variada para proporcionar arames tubulares para aplicações específicas.

As funções básicas dos componentes do fluxo são:

- ❑ desoxidante e formador de nitretos — como o nitrogênio e o oxigênio podem causar porosidade e fragilidade, são adicionados desoxidantes como o manganês e o silício. No caso de arames tubulares OK autoprotégidos, são adicionados formadores de nitretos como o alumínio. Ambos auxiliam na purificação do metal de solda;
- ❑ formadores de escória — compostos formadores de escória como óxidos de cálcio, potássio, silício, ou sódio, são adicionados para proteger a poça de fusão da atmosfera. A escória ajuda a melhorar o perfil do cordão de solda, e escórias de rápida solidificação ajudam a suportar a poça de fusão na soldagem fora de posição. A escória também reduz a taxa de resfriamento, ação especialmente importante quando se soldam aços de baixa liga;
- ❑ estabilizadores do arco — elementos como o potássio e o sódio auxiliam na obtenção de um arco suave e reduzem a quantidade de respingos;
- ❑ elementos de liga — elementos de liga como o molibdênio, cromo, carbono, manganês, níquel e vanádio são empregados para aumentar a resistência, a ductilidade, a dureza e a tenacidade;

- geradores de gases — minerais como a fluorita e o calcário são normalmente usados para formar uma atmosfera protetora nos arames tubulares OK autoprotetidos.

Tipos de escória

Os componentes do fluxo determinam a soldabilidade do arame tubular OK e as propriedades mecânicas do metal de solda. Arames tubulares OK que tenham uma preponderância de componentes do fluxo de natureza ácida produzem uma escória do tipo ácido. Analogamente, arames tubulares OK que sejam constituídos de grandes quantidades de componentes de natureza básica produzem uma escória do tipo básico.

Arames tubulares OK produzidos com um tipo ácido de escória possuem excelente soldabilidade. Isso significa que o arco é suave e a transferência é do tipo aerossol (veja detalhes desse modo de transferência na página 34) com muito poucos respingos, e esses arames tubulares possuem ótimos recursos operacionais. As propriedades mecânicas são boas e atendem ou excedem as especificações AWS.

Arames tubulares OK que geram um tipo básico de escória produzem um metal de solda com excelente ductilidade e tenacidade. A soldabilidade não é tão boa quanto a dos arames tubulares OK com escória do tipo ácido. O modo de transferência é mais globular (veja detalhes desse modo de transferência na página 33), resultando em um pouco mais de respingos.

Alguns arames tubulares OK para a soldagem de aços de baixa liga são produzidos empregando um outro conceito de tipo de escória, que combina a excelente soldabilidade dos tipos de escória ácida

com as excepcionais propriedades mecânicas dos tipos de escória básica.

A ESAB produz arames tubulares OK rútilicos, básicos e metálicos. Para a fabricação em geral, o arame tubular OK metálico pode atender à maioria das aplicações e portanto a necessidade de três tipos pode ser questionada. Há uma série de fatores a serem considerados, que são expostos a seguir:

- ❑ arames tubulares OK Tubrod[®] rútilicos (com fluxo não metálico — *flux-cored wires*) são fáceis de usar, com uma ação de arco suave, dando excelente aparência ao cordão de solda, com fácil destacamento da escória;

quando aplicados com misturas ricas em Argônio, aplica-se na soldagem o modo de transferência por aerossol, sendo altamente atrativo para o operador;

- ❑ arames tubulares OK Tubrod[®] básicos (com fluxo não metálico — *flux-cored wires*) produzem um metal de solda com propriedades mecânicas em um nível melhor e mais consistente;

também produzem depósitos de solda de padrão radiográfico com facilidade, quando comparados aos arames tubulares OK Tubrod[®] rútilicos e metálicos;

- ❑ arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos (com fluxo metálico — *metal-cored wire*), quando aplicados em peças com boa qualidade de limpeza, produzem muito pouca escória vítrea, similar à dos arames sólidos.

Arames tubulares OK Tubrod[®] rútilicos

O rutilo, uma forma de dióxido de titânio (TiO₂), tornou-se a base mais empregada nos eletrodos revestidos nos idos de 1930. Ele per-

mitiu que o ponto de fusão e a viscosidade da escória fossem controlados por uma faixa muito mais larga que a disponível com escórias básicas, de tal modo que fosse possível fabricar eletrodos com escórias consistentes para a soldagem na posição vertical ou escórias fluidas para a soldagem a altas velocidades na posição plana. Adicionalmente, o titânio é um bom estabilizador do arco e é frequentemente adicionado a sistemas básicos, na forma metálica ou mineral, para resultar num arco mais suave. As mesmas vantagens são observadas quando o rutilo é empregado em arames tubulares OK Tubrod[®] rutilícos, que são formados por um fluxo não metálico.

O dióxido de titânio é um componente muito estável que contribui com pouco oxigênio para a solda, de tal modo que, quando combinado com componentes básicos, o produto resultante conserva muitas das características de um sistema completamente básico. Infelizmente essas características podem incluir fluidez excessiva e uma tendência à transferência globular, o que significa que arames tubulares híbridos rutilíco-básicos devem ser testados com muita cautela. Para maiores detalhes sobre os modos de transferência, veja o Capítulo 4 na página 30. Para uma melhor soldabilidade, a presença de componentes à base de silício pode ser de grande valia.

Para se atingir uma transferência estável do metal de solda como na transferência por aerossol em gotículas bem finas, a energia superficial das gotículas deve ser mantida baixa. O modo mais fácil de se conseguir isso é permitir alguma oxidação da superfície das gotículas, e então os componentes básicos inibem a transferência do oxigênio da escória enquanto os componentes ácidos, principalmente a sílica (SiO_2), favorecem a transferência do oxigênio. Os usuários de arames tubulares rutilícos acostumaram-se fato de que o modo de transferência por aerossol será alcançado para uma larga faixa de condições operacionais, e por isso o pessoal de desenvolvimento fica relutante em usar sistemas de escória que reduzam os teores de oxigênio para valores muito abaixo de 650 ppm. Alcançar níveis de tena-

cidade adequados às aplicações *offshore* com essa restrição foi um desafio que levou alguns anos para ser solucionado.

O rutilo funde entre 1700°C e 1800°C, e por isso é necessária a adição de alguns agentes ao fluxo para abaixar o ponto de fusão até valores abaixo de 1200°C, que é um valor mais adequado para a escória de solda. Isso por si só não constitui um problema, já que muitos minerais formarão com o rutilo eutéticos de baixo ponto de fusão. A dificuldade para o pessoal de desenvolvimento recai no curto espaço de tempo disponível para os pós fundirem.

Por exemplo, se a distância da ponta do bico de contato à poça de fusão — extensão do eletrodo ou *stickout* — for de 20 mm, e se o arame for alimentado a uma velocidade de 6 m/min (=100 mm/s), um ponto no arame levará apenas cerca de 0,2 s para percorrer a extensão do eletrodo. Durante esse intervalo de tempo o calor está sendo gerado pelo aquecimento resistivo na fita metálica apenas, e deve ser conduzido ao núcleo, idealmente no período de tempo em que o núcleo e o invólucro metálico possam se fundir quase simultaneamente. Fotografias de alta velocidade mostram que, quando isso acontece, a escória pode envolver as gotículas de metal. Quando o núcleo não se funde em tempo, um cone de pó pode ser observado caindo da ponta do arame como cinza de cigarro, evitando a transferência axial das gotículas. Minerais sólidos na forma de pós não são bons condutores de calor. Por isso, se o núcleo consistir inteiramente de materiais com altos pontos de fusão, pode não ser suficiente para uma boa soldabilidade o fato de, depois de fundida, a mistura solidificar-se a uma temperatura relativamente baixa. A solução é incluir entre os pós pelo menos um com ponto de fusão abaixo do da fita metálica, que pode ajudar a conduzir o calor pelo núcleo e dissolver o rutilo e outros minerais de alto ponto de fusão.

Os arames tubulares OK Tubrod[®] rutilícos podem ser subdivididos em dois tipos: E70T-1 para altas taxas de deposição e EX1T-1 para soldagem em todas as posições.

Arame tubular OK Tubrod[®] rutílico E70T-1

- ❑ gás de proteção: CO₂;
- ❑ disponível no diâmetro de 2,4 mm;
- ❑ excepcionalmente suave quando operado com altas correntes, produzindo poucos respingos e uma aparência regular do cordão de solda;
- ❑ taxas de deposição muito altas. A remoção da escória se dá sem esforço, sendo autodestacável em juntas em ângulo;
- ❑ ideal para soldagem de produção de equipamentos pesados para uma grande variedade de aços de baixa e média resistência;
- ❑ opera com corrente contínua positiva.

Arames tubulares OK Tubrod[®] rutílicos EX1T-1 para soldagem em todas as posições

Arames tubulares OK Tubrod[®] para soldagem em todas as posições contêm ingredientes no fluxo que produzem uma escória de rápida solidificação, e a fluidez adequada da poça de fusão para a soldagem fora de posição. Como a escória ajuda a suportar a poça de fusão, a tensão do arco e a corrente de soldagem podem ser relativamente altas, resultando em altas taxas de deposição. A alta penetração desses arames tubulares limita a espessura mínima a 4,0 mm na posição vertical e 6,0 mm nas posições plana ou horizontal.

Esses arames tubulares possuem as seguintes características:

- ❑ gás de proteção: CO₂, podendo também, em alguns casos ser aplicada uma mistura Ar + CO₂;
- ❑ disponíveis nos diâmetros 1,2 mm e 1,6 mm;
- ❑ metal de solda de boa qualidade com baixo nível de hidrogênio difusível;

- ❑ cordão de solda com aparência regular e suave, com um mínimo de respingos;
- ❑ excelente remoção de escória;
- ❑ modo de transferência por aerossol em qualquer posição com altas taxas de deposição;
- ❑ capacidade de ser operado com um ajuste de corrente em qualquer posição, se requerido;
- ❑ ideal para juntas de topo com abertura na raiz e com o auxílio de cobre-juntas cerâmicos.

Arames tubulares OK Tubrod[®] básicos

Inicialmente os arames tubulares com fluxo não metálico foram produzidos pelo pessoal de desenvolvimento cuja experiência era principalmente em eletrodos revestidos, e então era natural que eles usassem sistemas de escória já aprovados na soldagem com eletrodos revestidos. As escórias mais antigas eram do tipo básico, e o pensamento era que essa tecnologia poderia ser transferida com pequenas modificações para os arames tubulares.

Eletrodos revestidos devem produzir sua própria atmosfera protetora, e para isso o calcário e outras formas de carbonato de cálcio (CaCO_3) foram adicionados ao revestimento para liberar dióxido de carbono (CO_2) no arco. Para aderir o pó ao núcleo do arame tubular, soluções de silicatos foram usadas, e seu resíduo facilitou a fusão do óxido de cálcio (CaO) residual, reduzindo seu ponto de fusão. Como fundente adicional, foi empregado o fluoreto de cálcio (CaF_2) na forma de fluorita. Dessa forma o ponto de fusão da escória foi ajustado para um valor logo abaixo do metal de solda, de modo que ela não fique aprisionada à medida que a solda se solidifica. O fluoreto de cálcio também se volatilizava no arco, proporcionando uma proteção efetiva contra os gases atmosféricos.

Estudos mostram a diminuição dos teores de oxigênio à medida que a razão de basicidade

$$[1] \quad \frac{\text{CaO} + \text{CaF}_2}{\text{SiO}_2}$$

na escória aumenta para um valor de cerca de 2. O oxigênio é relativamente insolúvel no aço de modo que, quando o metal de solda está em processo de solidificação, ele sai de solução e precipita na forma de pequenas inclusões esféricas de óxidos. Os teores de oxigênio costumam ser maiores nos metais de solda do que nos metais de base porque a rápida solidificação não deixa às inclusões tempo suficiente para flutuar até a superfície como ocorre nas placas ou nos lingotes numa siderúrgica. Inclusões têm um efeito adverso na tenacidade da solda, e ainda mais na presença de elementos de liga adicionados para aumentar a resistência à tração dos aços.

Adicionalmente aos baixos níveis de oxigênio proporcionados pelas escórias básicas, ocorre também a dessulfuração do metal de solda, assim como nas siderúrgicas. Os depósitos de solda muito limpos assim obtidos dão ao pessoal de desenvolvimento de consumíveis a máxima flexibilidade para alcançar combinações ótimas de resistência e tenacidade.

Quando os aços tinham maiores níveis de impurezas que têm hoje, as trincas de solidificação do metal de solda, conhecidas também por trincas a quente, eram temidas pelos engenheiros de solda que descobriram que a capacidade de as escórias básicas poderem lidar com o enxofre deu a eles uma arma contra esse defeito. O fósforo, o outro elemento principal responsável pelas trincas de solidificação, não pode ser removido pelas escórias de soldagem já que essas não proporcionam um ambiente suficientemente oxidante. Atualmente as trincas de solidificação em aços estruturais raramente constituem um problema embora o emprego de consumíveis básicos seja aconselhável quando se reparam estruturas antigas ou quando se unem

aços que não foram projetados tendo a soldabilidade como o principal objetivo.

Na soldagem com eletrodos revestidos, depósitos de solda com níveis baixos de hidrogênio efetivamente requerem o uso de eletrodos básicos. Outros tipos de eletrodo freqüentemente precisam de umidade no revestimento para melhorar suas características de desempenho e para proporcionar um grau de proteção contra o nitrogênio da atmosfera, porém tanto o calcário quanto a fluorita — de maneiras diferentes — não só protegem o arco da atmosfera mas também inibem a captura de hidrogênio. O mesmo se aplica aos arames tubulares com fluxo não metálico, que não são formulados para terem umidade deliberadamente presente; por isso, é normal para todos esses arames tubulares satisfazerem ao critério de 15 mg/100 ml, usual para um eletrodo revestido de "hidrogênio controlado", porém a presença de fluorita, em particular no núcleo, dá à solda um grau de tolerância ao hidrogênio proveniente do arco elétrico, não importando se ele vem de resíduos do processo de produção ou de contaminação da peça por óleo ou de qualquer outro material orgânico. A soldagem com a maioria dos arames tubulares OK Tubrod[®] básicos resulta num depósito de solda com níveis de hidrogênio abaixo de 5 ml/100 g.

Uma vantagem eventual do emprego de arames tubulares OK Tubrod[®] básicos é sua capacidade de soldar melhor sobre tintas de fundo que os outros tipos de arames tubulares. Isso provém principalmente da fluidez das escórias básicas, que permitem que os gases desenvolvidos durante a soldagem atravessem a escória, e não formem bolhas na interface metal-escória. O nível relativamente alto de desoxidação dos arames tubulares OK Tubrod[®] básicos também ajuda quando a tinta de fundo é do tipo óxido de ferro, e a capacidade de a escória remover enxofre é útil em tintas de fundo que empregam compostos sulfurosos.

Na soldagem fora de posição, os arames tubulares OK Tubrod[®] básicos são aplicados no modo de transferência por curto-circuito (veja esse modo de transferência na página 31), e funcionam melhor

nesse modo com corrente contínua eletrodo negativo (CC-), que reduz o tamanho das gotas e minimiza o embotamento na ponta do arame.

Os arames tubulares OK Tubrod[®] básicos oferecem então uma excelente combinação de boas propriedades mecânicas, baixos teores de hidrogênio e tolerância às condições das peças, mesmo incluindo superfícies com tintas de fundo. Como restrição, sua escória fluida e a dificuldade em atingir o modo de transferência por aerossol significam que a soldagem fora de posição tradicionalmente tem sido realizada no modo de transferência por curto-circuito, com a presença de alguns respingos.

As principais características dos arames tubulares OK Tubrod[®] básicos são as seguintes:

- ❑ gás de proteção: CO₂, podendo ser usados também com misturas Ar + CO₂;
- ❑ disponíveis nos diâmetros 1,2 mm e 1,4 mm;
- ❑ excepcional eficiência de deposição (até 90%) em correntes otimizadas, produzindo taxas de deposição mais altas que outros arames tubulares com fluxo não metálico;
- ❑ fina camada de escória, facilmente destacável, portanto reduzindo a possibilidade da ocorrência de inclusões de escória;
- ❑ operam preferencialmente com corrente contínua negativa;
- ❑ o diâmetro de 1,2 mm é excelente para soldagem em todas as posições empregando o modo de transferência por curto-circuito;
- ❑ os níveis de hidrogênio difusível são mais baixos que 5 ml/100 g;
- ❑ recomendados para soldagem monopasse ou multipasse de seções espessas sob condições de restrição.

Arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotetidos

Arames tubulares desenvolvidos para aplicação sem gás de proteção — arames tubulares autoprotetidos (*self-shielded wires*) — podem conter outros constituintes para proteger o metal de solda da contaminação atmosférica. Esses constituintes incluem metais e minerais voláteis e materiais que se decompõem para produzir gases protetores, bem como desoxidantes e formadores de nitretos destinados a capturar o oxigênio e o nitrogênio (provenientes do gás atmosférico) que conseguem penetrar na atmosfera protetora.

Arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotetidos dependem somente dos componentes do fluxo para proteger o arco da atmosfera, purificando o metal de solda e proporcionando os compostos formadores de escória necessários para proteger a poça de fusão contra a reoxidação. Esses arames tubulares não dependem de um gás de proteção externo e portanto podem funcionar mais efetivamente em ambientes exteriores sem a necessidade de cabines de proteção contra correntes de ar.

Arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotetidos são consideravelmente usados na soldagem de aços de baixo carbono. Estão disponíveis alguns arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotetidos contendo 1% de níquel para obtenção de melhores propriedades de resistência e impacto.

Sendo um processo de soldagem contínuo, os arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotetidos são capazes de atingir maiores taxas de deposição que os eletrodos revestidos, e são desenvolvidos para aplicações de soldagem em geral e aplicações específicas como reparos, soldagem fora de posição e soldagem de alta deposição. Alguns arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotetidos são especificamente desenvolvidos para a soldagem de chapas finas a altas velocidades de soldagem.

Arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotégidos utilizam uma extensão do eletrodo maior que os arames tubulares OK Tubrod[®] com gás de proteção externo. A extensão do eletrodo pode variar de 12,5 mm a 95 mm dependendo do tipo de arame tubular OK Tubrod[®] autoprotégido e da aplicação. Um comprimento maior de arame além do bico de contato faz a tensão do arco diminuir, já que o arame adicional atua como uma resistência. Isso faz com que o arame aqueça e a corrente diminua, resultando num cordão de solda estreito e raso, que não dilui muito material de base, permitindo que o processo seja aplicado na soldagem de materiais finos em peças de difícil ajuste. Se a corrente e a tensão aumentarem, a taxa de deposição aumentará, e também a penetração a um grau menor. É importante que sejam seguidas as recomendações de soldagem da ESAB para cada tipo e diâmetro de arame tubular OK Tubrod[®] autoprotégido.

Arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotégidos para a soldagem em todas as posições empregam corrente contínua eletrodo negativo. A penetração é baixa, tornando-o adequado para fechar aberturas excessivas em peças com ajuste deficiente. A regulagem ótima da tensão e da corrente de soldagem é mais baixa que os valores normalmente obtidos para os arames tubulares OK Tubrod[®] com gás de proteção externa. Os diâmetros 1,6 mm e 2,0 mm são os mais comuns para a soldagem fora de posição, embora o diâmetro 2,4 mm possa ser empregado em alguns casos. Extensões de eletrodo entre 12,5 mm e 25 mm são as recomendadas para esses arames.

Os tipos de arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotégidos para altas taxas de deposição utilizam uma extensão de eletrodo longa (38 mm a 95 mm), e a maioria deles usa polaridade reversa (eletrodo positivo). Desenvolvidos para uso somente nas posições plana e horizontal, estão normalmente disponíveis nos diâmetros 2,0 mm, 2,4 mm, 2,8 mm e 3,0 mm.

Resumindo, os arames tubulares OK Tubrod[®] autoprotégidos possuem as seguintes características:

- ❑ desenvolvidos para uso no campo para a soldagem de aços carbono em todas as posições e também para altas taxas de deposição;
- ❑ taxas de deposição maiores que a soldagem manual com eletrodos revestidos;
- ❑ não necessitam de equipamentos de solda especiais;
- ❑ boa aparência da solda, com aspecto limpo e escória facilmente removível;
- ❑ para uso na maioria dos aços estruturais com resistência mecânica da ordem de 510 MPa;
- ❑ serão brevemente incorporados à linha de produtos OK Tubrod[®] no Brasil.

Arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos

Arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos possuem como componente principal do fluxo o pó de ferro, que serve para aumentar a eficiência de deposição. Os componentes formadores de escória não perfazem mais que 5% do depósito. Essa característica proporciona ao usuário a capacidade de soldagem multipasses sem a necessidade de remover a escória.

Os arames tubulares cujo núcleo consistia somente de componentes metálicos, sem compostos minerais, foram empregados inicialmente em revestimento duro. Nessa época havia, para juntas de união, o sentimento de que era necessária a formação da escória para melhorar a soldabilidade e proteger a poça de fusão.

Entretanto, com as melhorias realizadas nos arames tubulares com fluxo não metálico, mais a possibilidade de se desenvolverem arames tubulares metálicos com arco mais estável que arames sólidos.

dos, e com a constatação de se evitar a penetração dediforme quando se usavam misturas ricas em argônio, começou a haver uma grande procura pelos arames tubulares metálicos. Para maiores detalhes sobre penetração dediforme, veja o Capítulo 6 e a Figura 15 na página 45.

Mesmo quando componentes básicos não estão presentes nos arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos, muitos são capazes de se igualar aos arames tubulares OK Tubrod[®] básicos em termos de níveis de hidrogênio no metal de solda. Por essa razão, alguns dos primeiros arames tubulares com alta resistência foram do tipo metálico. Outros tipos de arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos ligados incluem aqueles com base em níquel para aplicações onde é exigida tenacidade a baixas temperaturas, arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos ao cromo-molibdênio para aplicações de resistência à fluência e também arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos com adição de cobre para aplicações de resistência à corrosão atmosférica.

Os arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos possuem as seguintes características:

- ❑ uma grande variedade de arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos está disponível para se adequar a várias aplicações com o objetivo de se alcançar altas velocidades de soldagem com requisitos de tenacidade a baixas temperaturas e alta resistência;
- ❑ os arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos possuem alta eficiência de deposição (aproximadamente 95%);
- ❑ aplicado com misturas Ar + CO₂ ricas em Argônio, conseguem-se facilmente cordões de solda de acabamento suave e consistente, com um mínimo de respingos e de escória.
- ❑ a quantidade de fumos gerados é significativamente menor que a gerada pelos arames tubulares com fluxo não metálico, sendo a emissão de fumos cerca de 50% menor que a quantidade emitida por eletrodos de altíssimo rendimento revestidos com pó de ferro;

- ❑ pode-se conseguir uma economia de até 30% em soldas de filete monopasse através de uma profunda penetração, que aumenta a espessura da garganta efetiva, com uma redução correspondente na dimensão da perna de até 20%;
- ❑ uma economia adicional pode ser conseguida pela redução da quantidade de metal de solda depositado por meio de menores ângulos de chanfro;
- ❑ todos os arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos produzem um metal de solda de baixo hidrogênio difusível, tipicamente menor que 4 ml/100 g;
- ❑ arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos apresentam a vantagem de satisfazer à maioria das aplicações na vertical descendente com um único ajuste de corrente. A única variação necessária é na velocidade de soldagem, que determinará o volume do material de solda depositado.

Arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos para arco submerso

Arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos, mesmo em sua forma padrão, podem ser empregados na soldagem por arco submerso com fluxo e equipamento adequados e, com algumas modificações, eles podem ter um desempenho ainda melhor.

Os arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos para arco submerso possuem as seguintes características:

- ❑ os arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos para arco submerso representam a maneira mais econômica de se produzir um metal de solda com composição complexa comparados com os arames sólidos, que podem não estar disponíveis, ser muito caros ou mesmo ser impossíveis de se fabricar;

- os arames tubulares OK Tubrod[®] para uso em revestimentos duros são um exemplo típico desse caso, tendo ainda a vantagem de se obter uma produtividade maior.

Capítulo 3

O processo de soldagem com arames tubulares OK

Características principais

Basicamente o processo de soldagem com arames tubulares OK é o mesmo que o MIG/MAG e utiliza os mesmos equipamentos do arame sólido, embora requeira equipamentos de maior capacidade em alguns casos (veja a Figura 5).

A diferença mais importante entre a soldagem MIG/MAG com arame sólido e a com arame tubular OK é o seu desempenho em termos de produtividade, características de soldagem e integridade do metal de solda.

Mudanças para adequação a alguma aplicação particular ou a algum requisito especial são mais facilmente obtidas com arames tubulares OK que com arames sólidos. Isso envolve alterações na formulação e no percentual de fluxo, de um modo similar ao dos eletrodos revestidos: a formulação e a espessura do revestimento podem ter um efeito significativo, ao passo que pouco pode ser feito com a alma do eletrodo para melhorar seu desempenho.

Por sua vez, os arames tubulares OK autoprotégidos produzem seu próprio gás de proteção através da decomposição, no arco, de vários elementos do fluxo. Dessa forma, arames tubulares OK autoprotégidos não exigem proteção gasosa externa, podendo ser empre-

gados sob ventos moderados com perturbações mínimas da atmosfera protetora em torno do arco (veja a Figura 6).

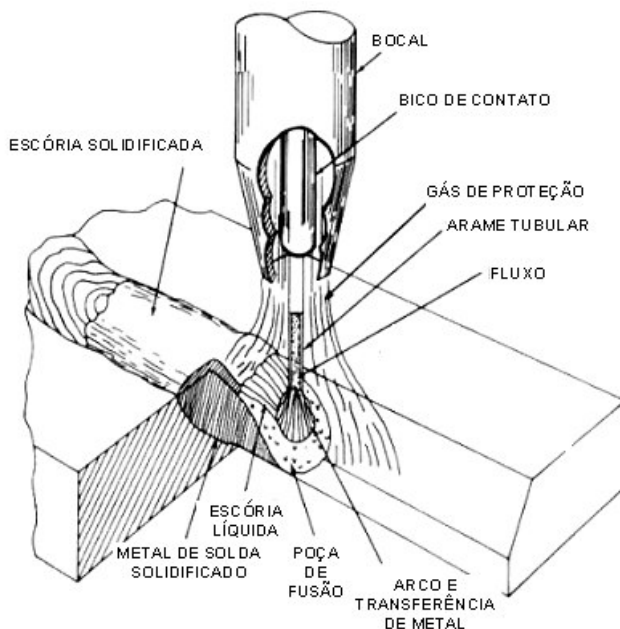


Figura 5 - O processo de soldagem com arames tubulares OK com gás de proteção

A economia do processo

Embora existam processos de soldagem de maior produtividade disponíveis, tais como arco submerso e processos robotizados, o arame tubular OK oferece ao usuário um processo mais flexível com aumentos reais em produtividade com um mínimo de capital investido.

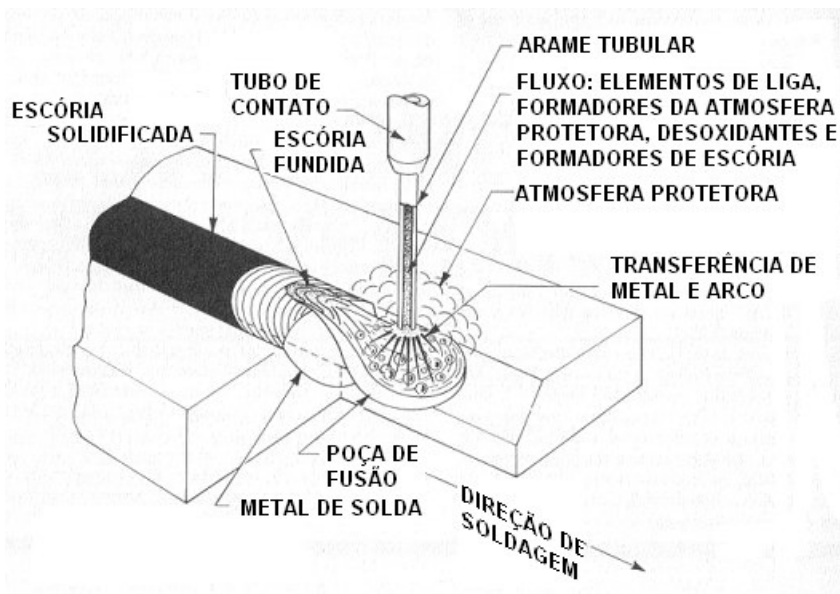


Figura 6 - O processo de soldagem com arames tubulares OK autoprotetidos

Onde o arame sólido já está em uso, a migração para arame tubular OK pode envolver apenas a troca de alguns acessórios como roldanas e alguns materiais consumíveis da tocha.

A migração de eletrodo revestido para arame tubular OK requer obviamente a aquisição de novos equipamentos, porém o indiscutível aumento em produtividade garantirá um retorno do capital investido em menos de um ano.

Um bom conhecimento do processo, bem como a consciência do campo de excelência de cada tipo de arame tubular OK pode ajudar os profissionais da área de soldagem a identificar "nichos" de fabricação onde os arames tubulares OK possam trazer economia ou melhorias na qualidade. Diferentemente dos arames sólidos, a formulação do fluxo pode ser utilizada para dar aos arames tubulares OK a combinação ótima de propriedades mecânicas, soldabilidade e produtividade para uma série de aplicações.

O maior preço dos consumíveis é geralmente compensado por uma economia muito maior no processo de soldagem como um todo. A qualidade e a produtividade dos arames tubulares OK garantem essa economia global.

Taxa de deposição

A maior taxa de deposição proveniente do arame tubular OK relativamente ao arame sólido vem do efeito de Joule ($R \times I^2$), que é maior no arame tubular OK que no arame sólido, a uma dada corrente.

Na soldagem com arame sólido, toda a seção transversal conduz a corrente, mas com o arame tubular OK metálico a corrente é conduzida parcialmente pelo núcleo e, no caso de arame tubular OK com fluxo não metálico, toda a corrente é conduzida pelo invólucro tubular metálico. Então, a densidade de corrente e o efeito Joule garantem uma taxa de fusão maior para arames tubulares OK (veja a Figura 7).

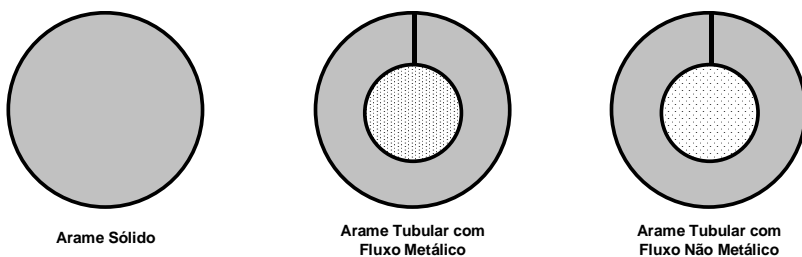


Figura 7 - Seção reta do arame cobreado e dos arames tubulares OK com fluxo metálico e não metálico

Capítulo 4

Modos de transferência do metal de solda

As vantagens econômicas provenientes do emprego de arames tubulares OK são claras, porém devem ser feitas algumas considerações quanto aos modos de transferência do metal de solda para que sejam alcançados os melhores resultados, especialmente quando não são necessariamente aplicáveis comparações diretas com arames sólidos. A escolha do consumível e do diâmetro relativamente à aplicação proposta são importantes aspectos a serem considerados ao se explorarem as vantagens do processo.

Na soldagem com arames tubulares OK as variações comuns dos gases de proteção, fontes de energia e tipos de arames têm efeitos significativos que podem produzir basicamente três diferentes modos de transferência de metal através do arco: aerossol, globular e curto-circuito. A transferência por aerossol e a globular requerem correntes relativamente altas, enquanto que a transferência por curto-circuito usa normalmente correntes médias e baixas. Cada modo de transferência de metal de solda tem suas limitações e vantagens específicas.

Arames tubulares OK metálicos comportam-se de forma similar aos arames sólidos relativamente aos modos de transferência. Arames tubulares OK rutilícos apresentam, em função da corrente, os modos de transferência por aerossol para altas correntes e um misto de aerossol e globular (pode ser chamado de “falso aerossol”) para baixas correntes, enquanto que arames tubulares OK básicos operam

normalmente com transferência globular a correntes elevadas e curto-circuito para correntes mais baixas.

Modo de transferência por curto-circuito

Quando se usam fontes de tensão constante, o modo de transferência por curto-circuito ocorrerá somente para correntes geralmente abaixo de 200 A, embora esse valor possa variar em função do diâmetro do arame e dos parâmetros escolhidos. Esse modo de transferência funciona através de uma série de curtos-circuitos onde o arame realmente toca a poça de fusão e, conseqüentemente, a corrente aumenta e funde a ponta do arame (veja a Figura 8).

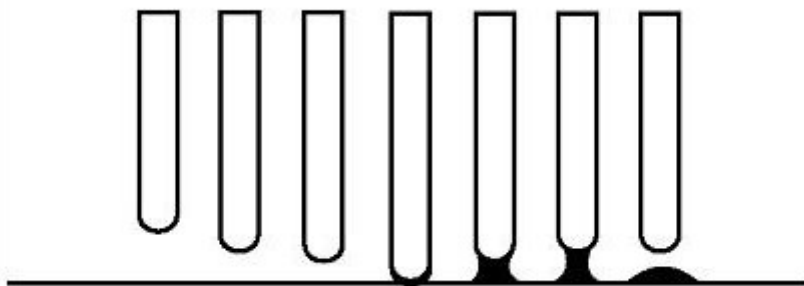


Figura 8 - Transferência por curto-circuito

A necessidade de correntes relativamente altas com os modos de transferência por aerossol e globular limita sua aplicabilidade. Estes modos de transferência não são recomendados para a soldagem de seções de pequena espessura porque a penetração na junta e as taxas de deposição são excessivamente altas, resultando em perfuração ou em deposição excessiva. Entretanto, com a transferência por curto-circuito, a corrente média e as taxas de deposição podem ser

limitadas empregando-se fontes de soldagem que permitam ao metal de solda ser transferido através do arco somente durante os intervalos de curtos-circuitos controlados ocorrendo a taxas um pouco maiores do que cinqüenta por segundo. Aplicar uma indutância menos agressiva é a prática mais usual que pode ser utilizada para variar o aumento de corrente de tal maneira que as erupções que ocorrem imediatamente após o curto-circuito não causem respingos excessivos.

O modo de transferência por curto-circuito é caracterizado por um arco frio e por isso é ideal para chapas finas, passes de raiz em juntas com abertura e especialmente para a soldagem fora de posição em peças de pequena espessura. Esse modo de transferência tem a vantagem de ser muito fácil de usar. No entanto, a falta de fusão lateral pode ser um problema quando se soldam peças mais espessas que 6,0 mm porque o aporte térmico é baixo. Por isso, uma boa técnica de soldagem é muito importante quando se soldam peças espessas, devendo ser dispensada uma atenção especial à técnica de soldagem do operador para garantir fusão adequada durante a soldagem fora de posição em peças mais espessas.

Arames tubulares OK Tubrod[®] rutilícos do tipo E70T-1 e E71T-1 apresentam desempenho inferior na transferência por curto-circuito e por isso devem, sempre que possível, permanecer na transferência por aerossol.

Exceto para a posição sobrecabeça, o arame sólido está restrito à transferência por curto-circuito para a soldagem fora de posição que, comparativamente, é lenta e propensa a gerar defeitos de falta de fusão, a menos que a técnica do operador seja adequada.

O arame tubular metálico OK Tubrod[®] 90 MC (E80C-G) e o básico OK Tubrod[®] 75 (E71T-5) de diâmetro 1,2 mm podem ser soldados fora de posição, porém restritos ao modo de transferência por curto-circuito.

Modo de transferência globular

Aumentando-se a corrente para acima de 200 A, dependendo do diâmetro do arame, haverá uma transição para o modo de transferência globular, onde os curtos-circuitos não acontecem a uma frequência regular (veja a Figura 9).

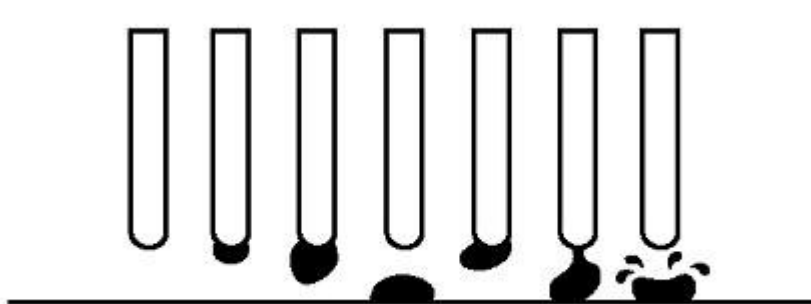


Figura 9 - Transferência globular

No modo de transferência globular, os gases ricos em CO_2 são usados para proteger o arco e a região de soldagem. O arame se aquecerá demasiadamente e formar-se-ão grandes gotas de metal fundido, que será transferido através do arco em glóbulos impulsionados pela força do arco. Nem sempre as gotas serão direcionadas à poça de fusão e por isso haverá excessivos respingos no impacto com o material de base ou com a poça de fusão. Por isso esse tipo de transferência deve ser evitado tanto para arames sólidos quanto para arames tubulares OK.

Modo de transferência por aerossol

O modo de transferência por aerossol é estabelecido quando é mantido um comprimento constante do arco, de modo que gotas extremamente finas sejam projetadas através do arco em queda livre.

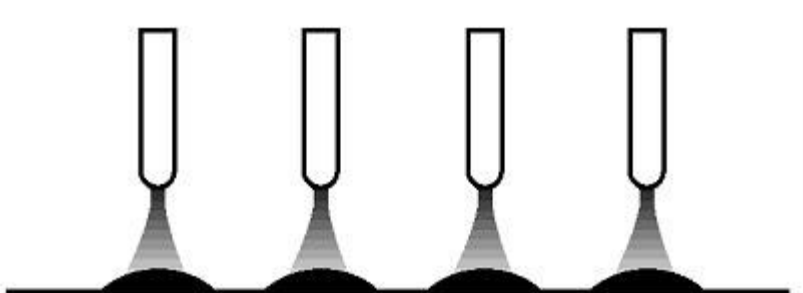


Figura 10 - Transferência por aerossol

Esse modo de transferência consiste em uma transferência axial de várias centenas de pequenas gotas de metal de solda por segundo. É necessário o argônio ou misturas de gases ricas em argônio para proteger o arco. O eletrodo positivo com corrente contínua (CC+) é quase sempre empregado e a corrente tem que estar acima de um valor crítico relacionado com o diâmetro do arame. A transferência do metal de solda é muito estável, direcional e essencialmente livre de respingos.

A aparência da solda é muito boa, sendo que aporte térmico e força do arco superiores asseguram excelente fusão lateral e penetração com uma reduzida incidência de defeitos. Esse modo é habitualmente empregado em situações onde são possíveis e desejáveis taxas de deposição máximas. Não há restrições relativamente ao uso de quaisquer arames tubulares OK com esse modo de transferência.

A transferência por aerossol em arco pode ser subdividida em dois diferentes tipos. Quando o gás de proteção é o argônio ou uma mistura de argônio e oxigênio, as gotas no aerossol são muito finas e nunca causam curto-circuito do arco. Quando é usado o dióxido de carbono (CO_2) ou uma mistura $\text{Ar} + \text{CO}_2$, tende a se formar um glóbulo fundido na extremidade do arame, que pode crescer em tamanho até que seu diâmetro seja maior que o diâmetro do arame. Essas gotas, maiores em tamanho, podem causar curtos-circuitos, sendo esse modo conhecido como modo de transferência por falso aerossol ou quase globular.

Modo de transferência por arco pulsado

A Figura 11 mostra uma forma de onda típica com uma vista esquemática dos eventos na ponta do arame em cada ciclo. Durante os intervalos entre os pulsos, uma corrente de fundo mantém o arco aberto, mas nesta etapa não ocorre transferência de metal. Dessa forma, a transferência de metal ocorre a altas correntes, mas a corrente média permanece baixa e por isso o aporte de calor e a deposição são mais facilmente controlados do que na transferência por curto-circuito.

A soldagem por arco pulsado é um modo de transferência por aerossol que permite a projeção de gotas através do arco a uma frequência regular. A frequência pode ser variada na fonte de soldagem para adequá-la a uma aplicação, tipo e diâmetro de arame particular. Em equipamentos mais sofisticados, podem ser ajustados os valores máximo e mínimo da corrente e a duração do ciclo.

Não há vantagem no uso de arames tubulares OK rutilicos com MIG pulsado, mas esse processo permite o emprego de arames tubulares OK metálicos com diâmetros maiores a correntes mais baixas

que no caso de equipamentos convencionais. Os maiores benefícios são encontrados na aplicação de arames sólidos e, particularmente, em aços inoxidáveis e alumínio.

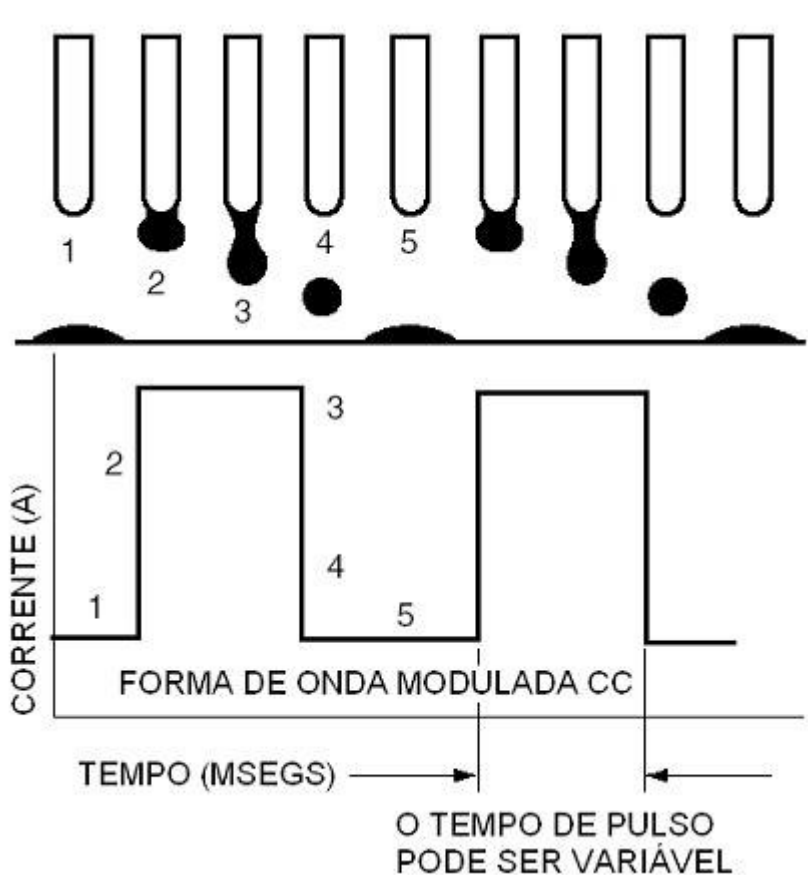


Figura 11 - Transferência por arco pulsado

Capítulo 5

Aplicações de robótica

Arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos

Tradicionalmente os robôs oferecem um aumento no ciclo de trabalho, porém não um aumento na velocidade de soldagem. O arame sólido foi universalmente aceito por economia, capacidade de reabertura de arco e assim por diante, mas o tempo real de arco aberto permaneceu o mesmo que o da soldagem semiautomática MIG/MAG.

A introdução dos arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos apresentou ao usuário de robôs uma oportunidade de ter um retorno maior e mais rápido dos custos de investimento comparativamente altos. O aumento de produtividade proporcionado pelos arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos não fica restrito aos equipamentos de soldagem semiautomática, e esses arames tubulares podem ser prontamente adaptados aos robôs sem modificações. Entretanto, como algumas aplicações podem se beneficiar do uso de um diâmetro maior que 1,2 mm, o diâmetro mais popular, pode ser necessário o emprego de tochas refrigeradas a água.

O mesmo pode aplicar-se ao diâmetro 1,6 mm em circunstâncias onde sejam previstas correntes maiores que aquelas empregadas com arames sólidos de mesmo diâmetro.

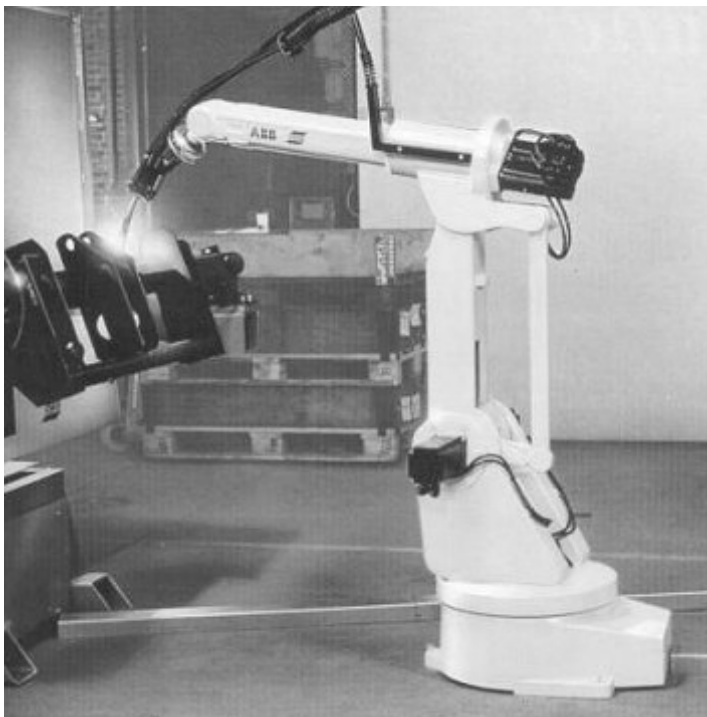


Figura 12 - Robô para soldagem com arames tubulares

Ciclo de trabalho e produtividade

Uma redução de 1% no tempo de ciclo total pode fazer uma diferença enorme nos números de produção anual e normalmente resulta em meia semana extra de volume de produção. Uma vez que o robô esteja instalado seria difícil fazer uma redução no tempo de manuseio, isto é, o posicionamento da peça e a velocidade de deslocamento entre passes. Por isso qualquer aumento na velocidade de soldagem é vital, visto que na maioria dos casos o tempo de soldagem repre-

senta pelo menos 60% do tempo de ciclo total. Por exemplo, se um componente tem um comprimento de 3.200 mm de uma junta em ângulo de garganta 4 mm, e consegue-se atingir uma velocidade de soldagem de 60 cm/min com um arame sólido de 1,2 mm, então o tempo de arco aberto efetivo é de 5,3 min. Uma mudança para um arame tubular metálico de diâmetro 1,6 mm pode levar a velocidades de soldagem de 84 cm/min para o mesmo tamanho de filete, o que reduzirá o tempo de arco aberto para 3,8 min, e portanto o tempo total de ciclo de 6,0 min para 4,5 min. Isso representa uma economia de 25% e um ganho teórico de 12 semanas de produção num ano (veja a Tabela I).

Analisando de outra forma, a questão pode ser vista em termos de metros de solda por ano. Um arame sólido de diâmetro 1,2 mm com um tempo de arco aberto de 1,6 min/m e operando com um ciclo de trabalho de 60% para um tempo corrido de 1.800 h/ano produzirá 40.500 m de junta em T de garganta 4 mm. Esses valores podem ser comparados com 54.450 m para o arame tubular metálico OK Tubrod[®] 70 MC de diâmetro 1,6 mm a uma velocidade de soldagem de 1,19 m/min, isto é, 13.950 m adicionais por ano (veja a Tabela I).

Arame	Sólido Ø 1,2 mm	OK Tubrod[®] 70 MC Ø 1,6 mm
Velocidade de soldagem (cm/min)	60	84
Tempo de arco aberto (min)	5,3	3,8
Tempo total de ciclo (min)	6,0	4,5
Metros de solda por ano	40.500	54.450

Tabela I - Sumário - junta em T de garganta 4 mm

Avaliação de velocidade de soldagem e taxa de deposição

\varnothing (mm)	Garganta (mm)	Perna (mm)	I (A)	V (V)	Vel. sold. (cm/min)	Vel. arame (cm/min)	Taxa dep. (Kg/h)	Tempo arco (min/m)
1,2	2,5	4,0	200	26	50	440	2,15	2,0
1,2	4,0	6,0	290	30	60	1210	5,90	1,6
1,2	5,5	8,0	280	30	30	1100	5,40	3,3

Tabela II - Arame sólido ER70S-6

\varnothing (mm)	Garganta (mm)	Perna (mm)	I (A)	V (V)	Vel. sold. (cm/min)	Vel. arame (cm/min)	Taxa dep. (Kg/h)	Tempo arco (min/m)
1,2	2,5	4,0	250	28	110	1000	4,69	0,90
1,2	4,0	6,0	360	32	80	1680	7,88	1,25
1,2	5,5	8,0	350	32	42	1515	7,09	2,38
1,6	2,5	4,0	330	30	120	690	5,33	0,83
1,6	4,0	6,0	390	30	84	840	6,50	1,19
1,6	5,5	8,0	375	32	38	780	6,04	2,63

 Tabela III - Arame tubular OK Tubrod[®] 70 MC

O caso em questão

30% de aumento na velocidade de soldagem

- ❑ taxas de queima maiores que as do arame sólido
- ❑ maiores velocidades de soldagem
- ❑ maior retorno do investimento

Acabamento superior

- ❑ obtido do modo de transferência por aerossol
- ❑ máxima tolerância às condições das peças variando de polaridade positiva para negativa
- ❑ excelente fusão e molhabilidade minimizam os defeitos e o risco de mordedura, mesmo sob altas velocidades de soldagem
- ❑ misturas de gás ricas em argônio minimizam os respingos e proporcionam ótima aparência do depósito de solda

Sem problemas de reabertura de arco

- ❑ com arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos não há problemas de reabertura de arco, com a ponta do arame quente ou fria
- ❑ serve para aplicações monopasse ou multipasses

Tolerância a variações

- ❑ maior flexibilidade que o arame sólido: um ajuste de corrente pode ser empregado para uma variedade maior de tamanhos de cordão de solda / velocidades de soldagem
- ❑ maior tolerância a diferenças de ajuste que o arame sólido, que pode ser crítico quando se deseja evitar defeitos de solda

Maior economia

- ❑ maior penetração permite uma redução no tamanho do filete para uma dada espessura de material, levando a vantagens adicionais no custo global.

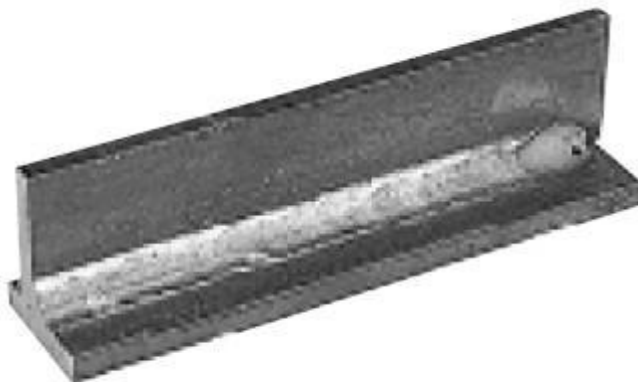


Figura 13 - Junta em ângulo monopasse - arame sólido de diâmetro 1,6 mm, 8 mm de profundidade de garganta. Velocidade de soldagem - 40 cm/min.

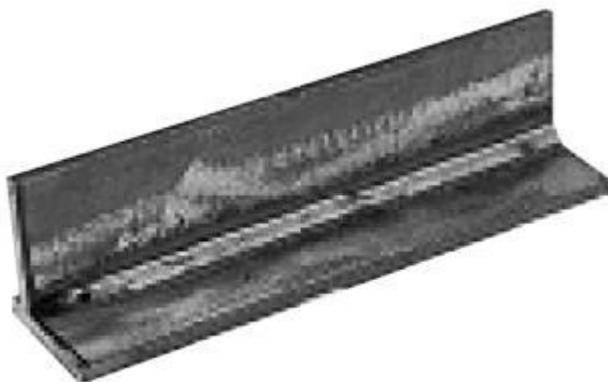


Figura 14 - Junta em ângulo - arame tubular OK Tubrod[®] 70 MC de diâmetro 1,6 mm, profundidade de garganta de 3 mm. Velocidade de soldagem - 120 cm/min.

Capítulo 6

Qualidade do metal de solda

Uma diferença essencial entre os arames sólidos e os arames tubulares OK para soldagem com gás de proteção é o modo de transferência do metal de solda em uma soldagem ao arco aberto.

Arames sólidos, que necessitam de misturas Ar + CO₂ para a soldagem ao arco aberto, produzem um arco pequeno e uma transferência de metal muito localizada. As gotas atravessam o arco ao longo de uma linha de centro, uma após outra a uma alta frequência, sendo que isso pode ser visto no cone característico do arco. Por causa dessa transferência axial, as gotas penetram na poça de fusão dentro de uma área de projeção relativamente pequena. Conseqüentemente, toda a energia contida nas gotas fica concentrada nessa área.

Arames tubulares OK possuem um arco mais largo. As gotas espalham-se e criam uma área de projeção maior, distribuindo, portanto, toda a energia de soldagem mais uniformemente. Essa diferença nas características do arco entre os arames sólidos e os arames tubulares OK tem um efeito significativo na qualidade do metal de solda. Tipicamente, a penetração de arames sólidos é pequena e estreita, ou seja, é uma penetração característica no formato dediforme — *fingerform* — (veja a Figura 15). Embora o arco do arame sólido tenda a escavar profundamente o metal de base, há um risco de defeitos de falta de fusão por causa da penetração em forma de dedo. O menor desalinhamento da tocha pode causar uma falta de fusão lateral para uma junta em ângulo. A penetração dos arames tubulares OK tem uma forma mais rasa, porém mais larga, possibilitando uma tolerância

muito maior para desalinhamentos da tocha e, adicionalmente, reduzindo os riscos de defeitos de falta de fusão. Esse efeito é ainda mais pronunciado quando o CO_2 é usado como gás de proteção em vez de misturas $\text{Ar} + \text{CO}_2$. Já que o CO_2 tem uma condutibilidade térmica maior, a energia térmica do arco espalha-se sobre uma área maior, o que favorece uma penetração na forma circular (veja a Figura 15).

Algumas diferenças adicionais são encontradas na aparência do cordão, especialmente a correntes de soldagem maiores, onde a transferência axial de gotas dos arames sólidos cria uma poça de fusão turbulenta e ondulada. Como resultado, os cordões de solda podem não ser planos, podendo exibir um aspecto rugoso e uma molhabilidade irregular nas laterais. O arco mais largo dos arames tubulares OK produz uma poça de fusão calma e plana que forma um cordão de solda de aspecto liso e com boa molhabilidade.

Uma quantidade reduzida de respingos é outra vantagem frequentemente oferecida pelos arames tubulares OK. Por exemplo, os arames tubulares OK rutilícos são praticamente livres de respingos no modo de transferência por aerossol, especialmente quando soldados com mistura como gás de proteção. Arames sólidos produzem níveis de respingos significativamente maiores, especialmente quando soldados no modo de transferência por curto-circuito ou globular. Arames tubulares OK oferecem maior facilidade de evitar o modo de transferência globular através de um aumento da tensão do arco.

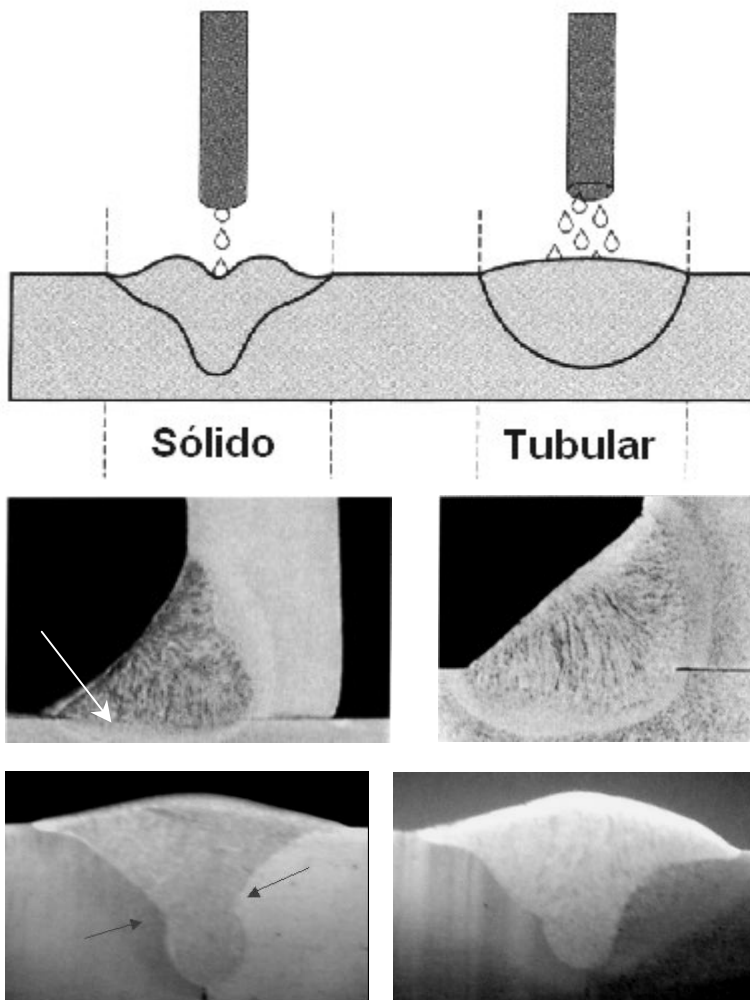


Figura 15 - Diferenças entre os arames sólidos e os arames tubulares OK na qualidade do metal de solda depositado

Propriedades mecânicas

Por uma série de razões, os fabricantes de componentes são obrigados a atender a valores de tenacidade ao impacto cada vez maiores em juntas soldadas empregando metal de solda de aço C-Mn a temperaturas na faixa de -30 °C. Os consumíveis de solda têm um papel significativo na produção de um metal de solda de alta pureza com níveis de enxofre (S) e fósforo (P) controlados porém, a menos que haja um controle no aporte térmico e no procedimento de soldagem, os resultados desejados não serão alcançados. A dureza da zona termicamente afetada (ZTA) também terá influência, embora os problemas nessa propriedade não possam ser atribuídos ao consumível de soldagem. Altas durezas na ZTA obviamente reduzem a ductilidade mas, sob a influência do hidrogênio, o qual pode ser originado do consumível, pode haver falha prematura.

Aporte térmico

O aporte térmico é expresso em quilojoules por milímetro (KJ/mm) e é útil na previsão dos parâmetros de soldagem que podem ser requeridos. A fórmula usada para estabelecer o valor do aporte térmico é

$$[2] \quad \text{Aporte térmico (KJ/mm)} = \frac{\text{Tensão do arco (V)} \times \text{Corrente (A)} \times 60}{\text{Velocidade de soldagem (mm/min)} \times 1000}$$

Resolvendo para as constantes, podemos obter uma equação simplificada na forma

$$[3] \quad \text{Aporte Térmico (KJ/mm)} = 0,06 \times \frac{\text{Tensão do arco (V)} \times \text{Corrente (A)}}{\text{Velocidade de soldagem (mm/min)}}$$

No caso de um metal de solda ao C-Mn, a faixa recomendada de aporte térmico fica na faixa de 1,0 - 2,0 KJ/mm. A partir daí, portanto, o diâmetro do arame pode ser estimado juntamente com a tensão, a corrente e a velocidade de soldagem.

Normalmente, a temperatura de transição de metais de solda ao C-Mn fica situada em torno de -30°C . O uso de aporte térmico excessivamente alto através da aplicação de altas correntes e de baixas velocidades de soldagem produz largos cordões de solda que, certamente, enchem rapidamente a junta. No entanto, as juntas soldadas apresentarão estruturas dendríticas grosseiras caracterizadas por baixa ductilidade e, portanto, valores deficientes de tenacidade a baixas temperaturas.

A zona termicamente afetada

A dureza da zona termicamente afetada (ZTA), que é a região adjacente à zona de fusão, não é diretamente atribuída ao consumível, mas a operação de soldagem influi na temperatura entrecorrentes e, portanto, na dureza.

Por exemplo, pode ser que a soldagem esteja ocorrendo dentro das recomendações de um procedimento relativamente à seqüência de passes e ao aporte térmico (KJ/mm), mas a espessura da chapa e o comprimento da junta podem ser tais que, mesmo que a chapa tenha sido pré-aquecida, o calor esteja se dissipando mais rapidamente do que o calor fornecido pelo arco elétrico. Esse resfriamento pode levar a um endurecimento inesperado e indesejável da ZTA, de tal modo que, embora a tenacidade do metal de solda seja satisfatória, a ZTA será comparativamente frágil.

Nesses casos, é possível rever os parâmetros de soldagem ou utilizar um dispositivo para manter o pré-aquecimento. Da mesma forma, se o aporte térmico causar um aumento progressivo na temperatura entrecorrentes, a soldagem deve ser interrompida periodicamente

para se manter dentro dos limites definidos. A maioria dos aços C-Mn de alto limite de escoamento com espessura acima de 25 mm requer uma temperatura de pré-aquecimento mínima de 150°C com uma temperatura máxima entresspasses de 250°C para assegurar resultados satisfatórios.

Os níveis de pré-aquecimento podem freqüentemente ser mais baixos com arames tubulares OK, desde que sejam aplicados com valores de aporte térmico maiores que os comumente aplicados aos arames sólidos ou aos eletrodos revestidos.

Hidrogênio difusível

Não é o objetivo desse texto apresentar um estudo profundo do efeito do hidrogênio difusível na ZTA, visto que já existe farta documentação sobre o assunto, porém devem ser tecidos alguns comentários a respeito de arames tubulares OK. Eletrodos revestidos básicos possuem uma predisposição à absorção de umidade, sendo freqüentemente necessária uma ressecagem antes do uso. No entanto, alguns avanços nas formulações dos revestimentos melhoraram sensivelmente sua tolerância. Os eletrodos revestidos rútilicos não podem ser utilizados para soldas de alta responsabilidade porque, pela natureza de seu revestimento, possuem componentes que contêm água, porém são essenciais a um desempenho satisfatório. Os arames tubulares OK não são tão susceptíveis à absorção de umidade, já que o núcleo contendo o fluxo é plenamente envolvido pela fita de aço, eliminando, assim, a necessidade de ressecagem antes do uso.

Os arames tubulares OK básicos produzem menos que 5 ml de hidrogênio difusível por 100 g de metal depositado (< 5 ml/100 g), sendo os teores habitualmente menores que 3 ml/100 g quando retirados da caixa. Por sua vez, arames tubulares OK metálicos apresentam tipicamente valores abaixo de 4 ml/100 g. Arames tubulares OK rútilicos produzem níveis aceitáveis de hidrogênio difusível menores

que os eletrodos revestidos rútilicos equivalentes, apresentando valores tipicamente menores que 8 ml/100 g.

Existe uma consciência crescente de que um único número ou classe de hidrogênio difusível não basta, como nos eletrodos revestidos, para se obter uma compreensão da atuação do hidrogênio nos arames tubulares OK. Diferentemente dos eletrodos revestidos, um arame tubular OK de diâmetro 1,2 mm, por exemplo, possui uma faixa de corrente recomendável de 150 a 300 A, sendo que a extensão do eletrodo pode variar entre 10 e 25 mm. Sabe-se que esses parâmetros têm um efeito predominante no nível de hidrogênio difusível no metal de solda.

Arames tubulares OK	Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Hidrogênio difusível (ml/100 g)
Básicos	-	-	< 3 ml/100 g
Metálicos	-	-	< 4 ml/100 g
Rútilicos	1,2	< 200	< 5 ml/100 g
	1,2	200 - 280	4 - 7 ml/100 g
	1,6	160 - 350	< 8 ml/100 g

Tabela IV - Teor de hidrogênio difusível nos arames tubulares OK

Permanecer abaixo de H5 (< 5 ml/100 g) dentro de toda a faixa recomendável de parâmetros de soldagem não é problema para a maioria dos arames tubulares OK metálicos e básicos. Esses arames geralmente apresentam um teor inicial de hidrogênio difusível muito baixo e uma sensibilidade relativamente baixa aos parâmetros de soldagem.

No caso de arames tubulares OK rútilicos, o teor de hidrogênio difusível é fortemente dependente do processo de fabricação e da formulação do fluxo, de modo que os fluxos são desenvolvidos para atingirem baixos níveis de hidrogênio difusível.

Arames de baixa liga

Arames tubulares OK são largamente empregados para a soldagem de aços de alta resistência e baixa liga. Estão disponíveis para a soldagem de aços ao molibdênio, ao cromo-molibdênio, ao níquel, ao manganês-molibdênio e aços temperados e revenidos. A combinação de um gás de proteção externo com os componentes do fluxo produz um metal de solda de alta pureza.

Por exemplo, para temperaturas de teste abaixo de -30°C , é necessário o emprego de arames de baixa liga, geralmente ligados ao níquel (Ni) para melhorar a tenacidade ou ao molibdênio (Mo) para melhorar a resistência à tração ou uma combinação de ambos.

Em arames tubulares OK do tipo 1% Ni e para temperaturas na faixa de -20°C , podem ser alcançados aumentos na produtividade através de aumentos no aporte térmico e na taxa de deposição. Nesse caso, a queda na tenacidade que ocorreria nos metais de solda de aço C-Mn é compensada pelo teor de 1% Ni.

Procedimentos de soldagem

Em qualquer procedimento de soldagem onde seja requerida tenacidade a baixas temperaturas, a seqüência de passes decidirá o refino da estrutura produzida sem necessariamente afetar a produtividade de forma negativa. Cordões largos e oscilação excessiva devem ser evitados, e por isso a técnica de vários passes por camada (filetado) após o passe de raiz deve ser adotada o mais cedo possível (veja a Figura 16a). Essa técnica assegura o máximo refino dos grãos. Embora a seqüência de passes da Figura 16b possa ser descrita como inadequada, pode ser aplicada se for inevitável, mas as camadas depositadas com a técnica de oscilação larga (trançado) devem ser as mais finas possíveis. Na soldagem na progressão ascendente, a velocidade de soldagem é pequena, e existe a

cordões de solda mais largos com aportes térmicos concomitantemente maiores que nas outras posições. É particularmente importante restringir a largura dos cordões (veja a Figura 16c), já que os valores de impacto atingidos na posição vertical são geralmente mais baixos que nas posições plana ou horizontal.



Figura 16 - Sequências de soldagem

Para ilustrar melhor a importância de uma seqüência de passes e de uma técnica de soldagem adequada, podemos observar os valores de impacto representando a tenacidade de duas juntas soldadas na posição plana (1G) e na vertical ascendente (3G) à Tabela V.

Posição	Preparação e seqüência de passes	Ø (mm)	Passe	A	V	Propriedades mecânicas			
						Ch V (J) @ 0°C	Ch V (J) @ -20°C	Dobr. face	Visual da raiz
Plana (1G)		1,2	1	180	23	93	75	Aprov.	Aprov.
		1,6	2	200	25	105	67		
		1,6	3-10	350	31	méd 105	méd 71		
Vertical asc. (3G)		1,2	1	140	20	66	39	Aprov.	Aprov.
		1,2	2	180	21	76	43		
		1,2	3-6	200	22	méd 76	méd 40		

Tabela V - Influência da seqüência de passes e da técnica de soldagem nas propriedades mecânicas da junta soldada

No Capítulo 13 podem ser vistos diversos procedimentos aplicáveis aos vários arames tubulares OK Tubrod®.

Capítulo 7

Dicas operacionais

Condições operacionais

Polaridade

CC+ é recomendada para arames tubulares OK rútilicos visto que a aplicação de polaridade negativa produz características operacionais inferiores e pode eventualmente causar porosidade.

Alguns arames tubulares OK metálicos funcionam bem em CC+ e em CC-, enquanto que outros arames desse mesmo tipo e os básicos operam melhor com CC-, resultando em uma ação mais efetiva do arco e em um acabamento do cordão de solda com quantidade reduzida de respingos.

Tensão

A tensão do arco tem uma influência direta no comprimento do arco que controla o perfil do cordão, a profundidade da penetração e a quantidade de respingos. À medida que a tensão do arco é reduzida, a penetração aumenta, sendo particularmente importante em juntas de topo em “V”.

Um aumento na tensão resultará em um comprimento de arco também longo, aumentando a probabilidade de ocorrência de porosidade e de mordeduras.

Quando se opera em modo de transferência por curto-circuito em soldagem fora de posição a baixas correntes, a tensão do arco deve ser mantida no maior valor possível para garantir uma fusão lateral adequada.

Corrente

Em fontes de tensão constante, a corrente de soldagem está diretamente relacionada à velocidade de alimentação do arame. Quanto maior for a velocidade de alimentação, maior será a corrente fornecida pela fonte de modo a fundir o arame alimentado à poça de fusão.

Com arames tubulares OK com fluxo não metálico, a corrente aplicada deve permanecer preferencialmente na metade superior da faixa recomendada para um determinado diâmetro, exceto para soldagem fora de posição nos diâmetros 1,2 mm e 1,4 mm e quando for empregado o modo de transferência por curto-circuito a correntes abaixo de 220 A.

Arames tubulares OK metálicos dispensam a necessidade de variações da corrente relativamente à espessura das peças, já que um ajuste de corrente para um dado diâmetro de arame irá atender a 90% das aplicações nas posições plana e horizontal em ângulo. A seção reta do cordão de solda é controlada pela velocidade de soldagem, enquanto que arames sólidos exigiriam ajustes consideráveis para alcançar a mesma flexibilidade.

Preparação de peças

Devido a uma fusão lateral superior obtida especificamente de arames tubulares OK metálicos, os ângulos dos chanfros podem ser geralmente reduzidos. Por exemplo, uma junta de topo em “V” que normalmente teria um ângulo de chanfro de 60° para soldagem ma-

nual pode ter uma redução para 45° , reduzindo com isso o desgaste do metal de base e também a quantidade de metal de solda necessária para encher a junta (veja a Figura 17).

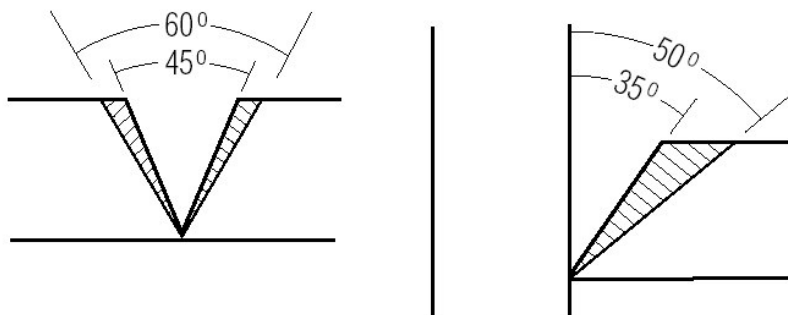


Figura 17 - Ângulos de preparação de chanfros

O maior nível de desoxidantes e uma maior densidade de corrente disponível com arames tubulares OK permite que eles sejam usados em peças onde tem que existir uma tolerância para tintas de fundo e carepa. Arames tubulares OK metálicos e arames tubulares OK básicos operam bem dessa forma, o mesmo não acontecendo com arames tubulares OK rútilicos. No entanto, no caso de tintas de fundo, o grau de tolerância depende do tipo de tinta e da espessura da película, porém a aplicação de arames tubulares OK básicos resulta em cordões de solda sem porosidade a velocidades de soldagem 45% maiores que arames sólidos, enquanto que arames tubulares OK metálicos são aproximadamente 35% mais rápidos. Recentes avanços no desenvolvimento de arames tubulares OK rútilicos soldáveis em todas as posições têm dado resultados satisfatórios em peças com tinta de fundo, principalmente com o uso de CO_2 como gás de proteção.

Para a obtenção de boas radiografias com arames tubulares OK com fluxo não metálico, deve ser removido por esmerilhamento o

excesso de carepa e de óxidos, o que também servirá para reduzir a formação de escória a uma quantidade mínima quando se aplicarem arames tubulares OK metálicos.

Em juntas em ângulo monopasses, pode ser alcançada uma economia adicional pela redução na quantidade de metal de solda requerido. A penetração normalmente maior dos arames tubulares pode aumentar a profundidade efetiva da garganta e, conseqüentemente, permitir uma redução no comprimento da perna em até 20%. A economia de consumível é considerável, sendo que algumas entidades normativas chegam a permitir uma redução de até 50% nas dimensões do cordão para juntas em ângulo monopasses, quando produzido por soldagem automática (veja a Figura 18).

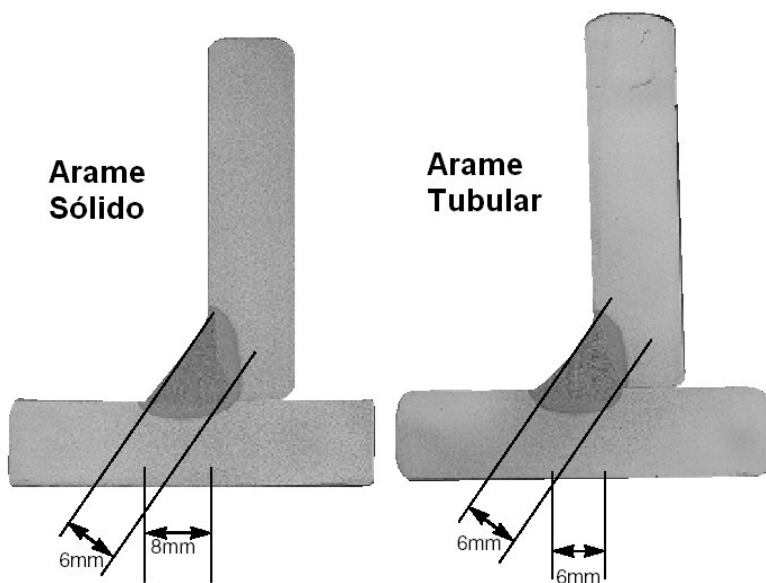


Figura 18 - Economia adicional de arames tubulares em relação aos arames sólidos

Soldagem fora de posição

A maioria dos arames tubulares OK pode ser soldada fora de posição para diâmetros menores. Contudo, deve ser tomado um cuidado especial na escolha do consumível em relação à aplicação proposta porque, dependendo do diâmetro, são requeridas técnicas de manipulação bem diferentes para se obter resultados ótimos.

Arames tubulares OK rutilicos

Esse tipo de arame tubular permite o uso do modo de transferência por aerossol em todas as posições, inclusive a sobrecabeça, proporcionando altas taxas de deposição. Adicionalmente, as excepcionais características de fusão resultantes têm um efeito significativo na produção de soldas sem defeito. Isso é particularmente relevante quando comparado ao arame sólido que, necessariamente, só pode ser empregado fora de posição no modo de transferência por curto-circuito. A menor penetração desse modo de transferência e a maior habilidade e concentração requeridas aumentam o risco de ocorrência de defeitos de falta de fusão. Os arames tubulares OK rutilicos podem alcançar taxas de deposição maiores que 3 Kg/h na posição vertical, comparados com 1 Kg/h dos eletrodos revestidos e aproximadamente 2 Kg/h dos arames sólidos.

As técnicas de soldagem requeridas para a vertical ascendente são quase idênticas às empregadas na soldagem manual tanto para juntas de topo quanto para juntas em ângulo. Entretanto, passes de raiz em juntas de topo com abertura na raiz, onde são necessários cordões de solda com penetração uniforme, não são recomendados, devido à alta energia do arco e à fluidez da poça de fusão, bem como por causa da necessidade de se preparar as juntas com alta precisão, o que não é considerado muito prático. Nesses casos, recomenda-se

o uso de cobre-juntas não consumíveis (cerâmicos ou de cobre), sendo esse tipo de arames tubulares adequado ao uso com esses materiais, aplicando-se velocidades de soldagem significativamente maiores.

Arames tubulares OK metálicos e básicos

Esses dois grupos podem ser tratados como apenas um no que diz respeito às técnicas de soldagem fora de posição. Para manter um bom controle da soldagem, os diâmetros dos arames tubulares OK ficam restritos aos diâmetros de 1,2 mm e 1,4 mm, sendo o modo de transferência por curto-circuito, onde se exige maior habilidade. A manipulação requerida é similar à aplicada aos arames sólidos, onde se utiliza, nos passes iniciais na posição vertical, a oscilação triangular, garantindo que o perfil do cordão de solda permaneça plano e sem cristas, que poderia levar a possíveis defeitos de falta de fusão nas laterais do chanfro nos passes subseqüentes, como é o caso em juntas multipasses.

A oscilação convencional retilínea pode ser empregada, porém somente em circunstâncias onde o passe anterior seja largo o suficiente para que o efeito de contração mantenha automaticamente um perfil plano. Enquanto o modo de transferência por curto-circuito é lento e requer maior concentração do operador, a energia do arco com arames tubulares OK é maior que com arames sólidos e a possibilidade de defeitos, especialmente colagem, é substancialmente reduzida. O passe de raiz em uma junta de topo com abertura na raiz, onde é requerida a penetração total com acesso por um só lado, é sempre o mais difícil, independentemente do processo ou da posição de soldagem.

No entanto, empregando arames tubulares OK metálicos ou básicos, no modo de transferência por curto-circuito e na progressão de soldagem descendente, podem-se obter boas vantagens. Excelentes

resultados podem ser alcançados mais facilmente, pois a velocidade de soldagem é maior e os custos de preparação da chapa podem ser reduzidos dispensando-se a preparação do nariz de solda. Juntas em ângulo podem ser soldadas aplicando-se as progressões de soldagem ascendente ou descendente. A escolha dependerá da espessura do material e do grau de penetração desejado na raiz. Juntas multi-passes devem ser preenchidas de um modo similar ao de juntas de topo usando a técnica de progressão de soldagem ascendente.

Extensão do eletrodo

Esse termo descreve a distância entre o bico de contato da tocha e a peça, chamado também de *stickout*. As condições de corrente devem ser ajustadas no botão de controle, mas durante a soldagem pode ser necessário reduzir a quantidade de calor na poça de fusão para acomodar uma montagem deficiente ou uma soldagem fora de posição. Um aumento na extensão do eletrodo e a resistência elétrica adicional resultante produzirão uma poça de fusão mais fria e menos fluida. Da mesma forma, qualquer redução na extensão do eletrodo terá o efeito de aumentar a corrente de soldagem, podendo trazer algum benefício no controle da penetração, especialmente onde houver alguma montagem inconsistente.

Em alguns casos especiais, onde houver dificuldade de acesso ou em chanfros estreitos, pode ser aplicada uma montagem em que o bico de contato fique protuberante em relação ao bocal, mas deve ser tomado um cuidado especial para garantir uma ação efetiva do gás de proteção (veja a Figura 19).

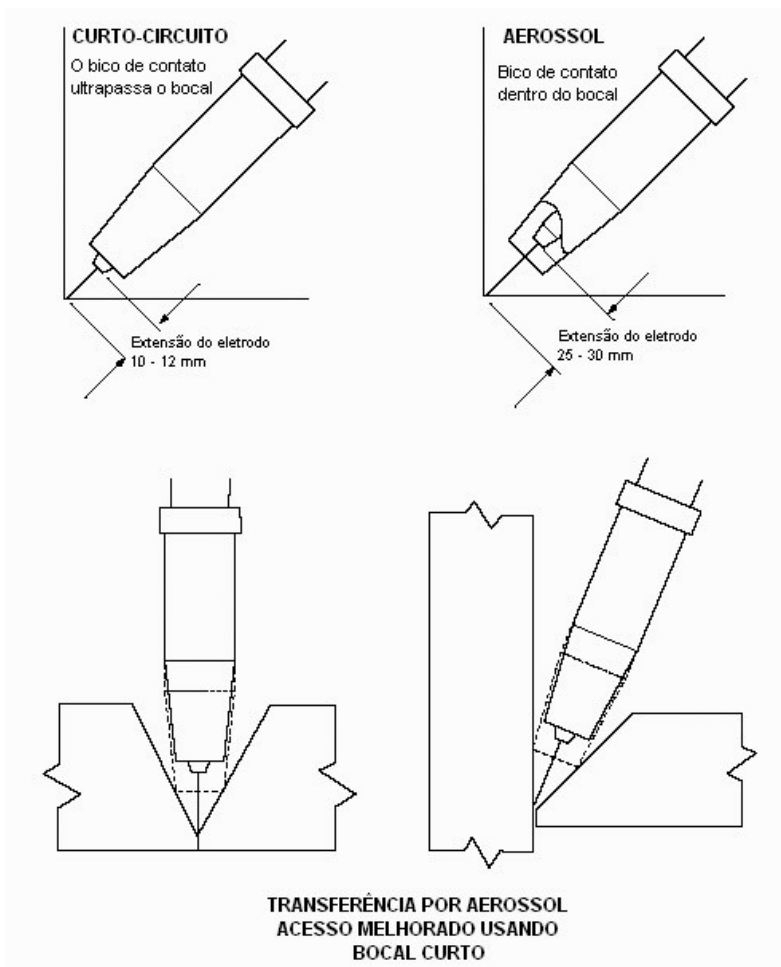


Figura 19 - Configurações especiais para o bico de contato

Quando se opera no modo de transferência por curto-circuito, uma extensão do eletrodo de 12 mm será suficiente para a maioria das aplicações, enquanto que a transferência por aerossol produz uma quantidade maior de calor irradiado e deve ter uma extensão do eletrodo de aproximadamente 20 - 30 mm. Durante a soldagem pro-

priamente dita, qualquer grande variação produzirá um depósito de solda inconsistente, sendo que uma extensão do eletrodo excessivamente grande reduzirá a eficiência da proteção do gás. Para uma dada taxa de alimentação de arame, qualquer aumento na extensão do eletrodo tem o efeito de reduzir a corrente fornecida pela fonte. Aumentando-se a velocidade de alimentação do arame para compensar a queda de corrente resultará em um significativo aumento na taxa de deposição do metal de solda (veja a Figura 20).

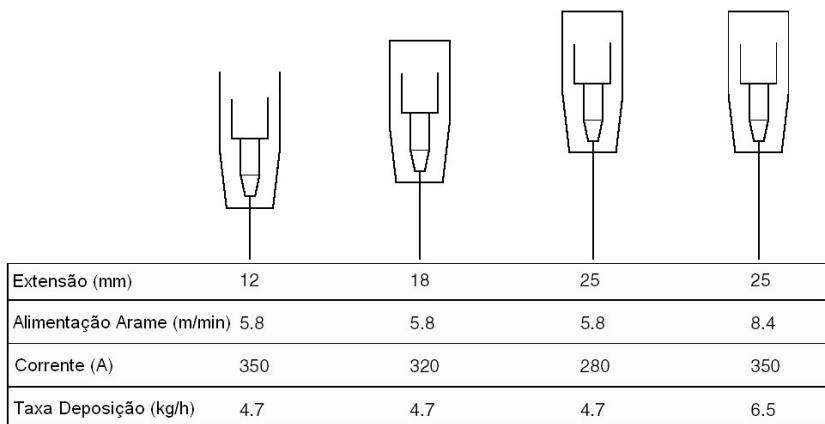


Figura 20 - Extensão do eletrodo e taxa de deposição

Gases de proteção

As funções principais do gás de proteção são proteger a poça de fusão, o arame tubular OK e o arco elétrico contra a ação dos gases atmosféricos, principalmente o oxigênio, e promover uma atmosfera conveniente e ionizável para o arco elétrico. Caso haja contato de ar atmosférico com o metal aquecido em processo de solidificação, mui-

tas descontinuidades serão geradas, prejudicando a integridade e as propriedades mecânicas da junta soldada.

O gás de proteção afeta o modo de transferência do metal através do arco elétrico, a velocidade de soldagem, as propriedades químicas e mecânicas e o aspecto do cordão de solda. Ele pode ser inerte (MIG - *Metal Inert Gas*) ou ativo (MAG - *Metal Active Gas*).

A adição de dióxido de carbono (CO₂) aumenta a penetração, sendo que a maior penetração ocorrerá com 100% CO₂. Outra consideração é a atividade na zona do arco. O dióxido de carbono (CO₂) quebrar-se-á em oxigênio (O₂) e monóxido de carbono (CO), alterando elementos como o silício (Si) e o manganês (Mn) e provocando alterações nas propriedades mecânicas (veja a Tabela VI).

Normalmente, para a soldagem de aços carbono e de aços de baixa e média liga, são empregados como gás de proteção o dióxido de carbono (CO₂) ou misturas de argônio e dióxido de Carbono (Ar + CO₂).

OK Tubrod [®] 71 Ultra		75Ar/25CO ₂	100% CO ₂
Composição química típica (%)	C	0,055	0,040
	Mn	1,50	1,30
	Si	0,60	0,50
Propriedades mecânicas típicas (MPa)	L.E.	630	580
	L.R.	670	600
Propriedades de impacto típicas (J)	-29°C	55	60

Tabela VI - Propriedades típicas do arame tubular OK Tubrod[®] 71 Ultra

CO₂

Esse gás é normalmente citado como um gás ativo, visto que ele não é quimicamente inerte. É o gás mais econômico, mas possui algumas desvantagens quando comparado a misturas ricas em Argônio.

Vantagens

- ❑ econômico
- ❑ baixo calor irradiado
- ❑ razão profundidade / largura do cordão superior
- ❑ menores níveis de hidrogênio difusível no metal de solda

A maioria dos arames tubulares OK com fluxo não metálico pode ser aplicada apenas com CO₂, produzindo bons resultados. Arames tubulares OK básicos também produzem características físicas superiores quando utilizados com CO₂.

Desvantagens

- ❑ maior quantidade de respingos
- ❑ banda de tensão estreita – a regulação da máquina é crítica

Misturas Argônio / CO₂

A mistura mais empregada tanto para arames tubulares OK quanto para arames sólidos é a Ar + 15 - 25% CO₂ que, embora mais cara, traz vantagens que certamente justificam seu uso.

Vantagens:

- ❑ quantidade reduzida de respingos pela ação de um arco mais suave
- ❑ menor geração de fumos
- ❑ acabamento e perfil do cordão de solda superiores

- ❑ capacidade de suportar uma larga faixa de tensão – a regulagem da máquina é menos crítica
- ❑ penetração consistente e mais favorável, especialmente com arames tubulares OK
- ❑ maiores velocidades de soldagem

Desvantagens:

- ❑ maior calor irradiado
- ❑ algumas vezes podem ser requeridos sistemas de refrigeração

É essencial que os arames tubulares OK metálicos sejam aplicados com misturas ricas em argônio (Ar), visto que o uso de CO₂ resultará em uma séria deterioração da aparência do cordão de solda, com níveis inaceitáveis de fumos e de respingos. Alguns arames tubulares OK com fluxo não metálico podem ser empregados com misturas Ar + CO₂ para melhorar a capacidade operacional, com reduzidos níveis de fumos e de respingos, mas a penetração lateral diminuirá nesse caso.

Vazão do gás de proteção

	Vazão do gás de proteção
Arames tubulares OK com fluxo não metálico	15 - 20 l/min
Arames tubulares OK com fluxo metálico	18 - 20 l/min
Esses valores podem ser modificados em função de condições externas especiais.	

Tabela VII - Vazão de gás de proteção para os arames tubulares OK

O fluxo de gás deve ser ajustado no regulador do cilindro, mas a medição da vazão do gás de proteção deve ser sempre medida no

bocal da tocha com um medidor de vazão (fluxômetro). Não deve haver vazamentos nas mangueiras nem nas conexões. Os vazamentos podem ser verificados comparando-se a vazão medida no regulador com a medida no fluxômetro.

Cada regulador serve para um tipo específico de gás e deve ser usado apenas com o gás apropriado. Caso contrário, a leitura de fluxo de gás será incorreta.

Efeito no perfil do cordão de solda

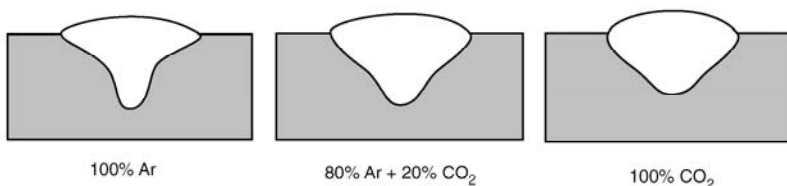


Figura 21 - Efeito do gás de proteção no perfil do cordão de solda

Soldagem unilateral e cobre-juntas cerâmicas

Passes de raiz em juntas de topo com abertura sempre apresentam fatores de restrição, tanto em termos de qualidade da solda quanto de produtividade. São necessárias a habilidade e a experiência dos soldadores para permanecer na estreita faixa entre uma penetração suficiente na raiz e excesso de penetração ou mesmo uma perfuração da raiz. Em um processo produtivo de alta qualidade, a limpeza para a contra-solda e o passe de selagem são muitas vezes requisitos dos procedimentos de soldagem para assegurar a boa qualidade do pas-

se de raiz. Geralmente os passes de raiz, executados sem qualquer suporte de metal de solda, apresentam baixas taxas de deposição.

A combinação das altas taxas de deposição dos arames tubulares OK com o emprego de cobre-juntas cerâmicos para permitir a soldagem unilateral pode resultar em consideráveis aumentos de produtividade. Os custos da mão de obra decorrentes da aplicação e remoção dos cobre-juntas são mais do que recuperados graças às velocidades de soldagem consideravelmente maiores que, por exemplo, as alcançadas pelos eletrodos revestidos. Existe uma grande variedade de formatos e tipos disponíveis e que podem ser utilizados com a maioria dos arames tubulares OK para soldagem em todas as posições.

A penetração é controlada pelo cobre-juntas e não pela corrente e, portanto, podem ser aplicadas maiores correntes para maximizar a velocidade e a deposição. Consegue-se uma raiz com um perfil suave e com fusão completa sem grande dificuldade, eliminando, portanto, a necessidade de goivagem e de passes de selagem.

A montagem das peças e a preparação do chanfro não são tão críticas. É possível também a simplificação do projeto da junta, conseguindo-se economias adicionais como, por exemplo, eliminação da preparação do nariz para juntas de topo. Além disso, a técnica é tão fácil de se aprender que os soldadores logo produzem raízes de boa qualidade, não sendo necessária grande habilidade nem tampouco muita experiência.

Cobre-juntas cerâmicos absorvem muito pouco a umidade e por isso asseguram metais de solda com baixo hidrogênio. Além disso, podem ser ressecados se necessário. Existem cobre-juntas para os projetos mais comuns de juntas, podendo também ser aplicados com adesivos ou com prendedores magnéticos.

Para alcançar penetração total em juntas de topo com abertura na raiz na posição plana e sem cobre-juntas é necessário fazer uso do modo de transferência por curto-circuito combinado com um alto

grau de atenção por parte do operador. A transferência por curto-circuito também restringe a escolha dos arames tubulares OK a básicos ou metálicos, já que os rutilícos só operam eficientemente no modo de transferência por aerossol. O emprego de cobre-juntas cerâmico elimina esse problema, removendo a restrição de escolha e permitindo o uso do modo de transferência por aerossol. A raiz pode, portanto, ser concluída em apenas uma fração do tempo normal e com um mínimo de fadiga para o operador.

No que diz respeito à soldagem fora de posição, particularmente a vertical, arames tubulares OK básicos e metálicos estão limitados ao modo de transferência por curto-circuito ao longo da junta. O cobre-juntas pouco pode fazer para aumentar a velocidade de soldagem no passe de raiz, já que ambos os tipos de arame são capazes de preencher satisfatoriamente um passe de raiz com penetração total sem o uso de cobre-juntas nas progressões vertical ascendente e descendente. Contudo, embora os arames tubulares OK Tubrod[®] rutilícos do tipo E71T-1 façam uso do modo de transferência por aerossol, são muito fluidos para um controle adequado em casos de juntas de topo com abertura de raiz sem qualquer suporte. O emprego de cobre-juntas cerâmicos supera essa dificuldade e permite um controle perfeito a taxas de deposição muito altas, como, por exemplo, 3 Kg/h a 180 A. Taxas de deposição de 3 - 4 Kg/h nas posições 1G e 2G são perfeitamente viáveis com arames tubulares OK Tubrod[®] básicos de diâmetro 1,6 mm, enquanto que raízes na posição 3G podem ser soldadas a 2 - 2,5 Kg/h com arames tubulares OK Tubrod[®] rutilícos de diâmetro 1,2 mm. A soldagem unilateral pode ser aplicada a chapas com espessura a partir de 4,0 mm.

A maior energia do arco disponível com os arames tubulares OK também garante que a reabertura do arco e a re-fusão de quaisquer defeitos de cratera sejam facilmente alcançados. Não é necessário nenhum dispositivo de partida a quente (*hot start*).

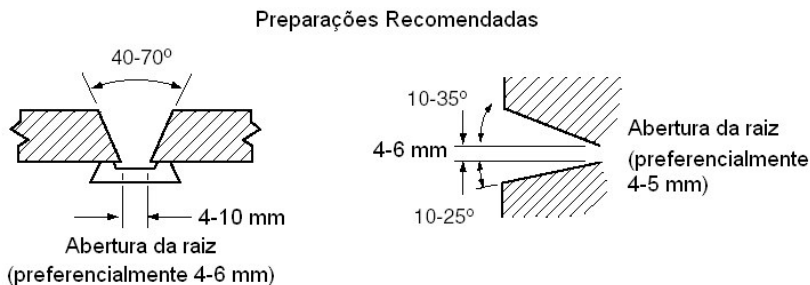


Figura 22 - Uso de cobre-juntas cerâmicos

A mecânica de alimentação dos arames tubulares OK

A principal diferença entre os arames tubulares OK e os arames sólidos, como resultado de sua estrutura, é que aqueles são menos resistentes e podem se deformar e sofrer danos mais facilmente que esses. Por isso, deve ser dada uma atenção especial ao sistema de alimentação.

Roldanas

Roldanas de grande diâmetro geralmente produzem melhor alimentação que roldanas pequenas. A razão para isso, evidentemente, é que uma parte mais longa do arame entra em contato com o entalhe da roldana e que a força de alimentação que é aplicada pode ser aumentada sem causar aumento na deformação do arame. O número de roldanas, o perfil do entalhe da roldana, o projeto do dispositivo de

pressão nas roldanas e as características de superfície das roldanas têm um efeito decisivo na alimentação do arame.

Empregar quatro roldanas em vez de duas apresenta a vantagem imediata de dobrar a superfície de contato das roldanas com o arame. Desse modo, uma pressão menor com quatro roldanas exerce a mesma força de tracionamento no arame que um par de roldanas com uma pressão maior. Conseqüentemente, é possível evitar a deformação indesejável do arame tubular OK empregando um sistema de alimentação com quatro roldanas.

Roldanas com entalhe em "V" pressionadas contra roldanas planas e lisas são uma combinação usual para arames sólidos. Nesse caso, as roldanas fazem contato com o arame em três pontos. A geometria do entalhe em "V" produz a distribuição de forças reativas à pressão aplicada no ponto entre a roldana plana e o arame, tendo-se o efeito de uma cunha, de modo que a força de alimentação no arame é obtida nas superfícies laterais de contato do entalhe em "V".

Arames tubulares OK são melhor tracionados com roldanas ranhuradas, que podem ser operadas com pressões menores. É sempre importante tomar cuidado para não aplicar uma pressão excessiva, pois isso aumenta o risco de causar danos ao arame tubular OK. Além disso, se as ranhuras das roldanas estiverem marcando a superfície do arame tubular OK, ele pode agir como uma lima e, por sua vez, danificar o bico de contato.

Qualquer que seja o tipo de roldanas utilizadas, o mais importante para o ajuste adequado da pressão de contato é não aplicar uma pressão maior que a necessária para produzir um tracionamento confiável, consistente e livre de deslizamento. Definitivamente, não é adequado ajustar a pressão para o máximo, de tal modo que o arame "tracione bem". Se a pressão de ajuste for muito baixa, deve ser aumentada gradualmente para evitar que ocorra deslizamento do arame durante a soldagem.

Se houver falha de alimentação do arame tubular OK com a pressão normal, não necessariamente é um problema com as roldanas, pode haver outra causa de falha no sistema de alimentação.

O freio

O freio existente no sistema tracionador deve ser ajustado de modo que o arame pare no exato momento em que a alimentação seja interrompida. Se o torque no freio for muito alto, será necessário aplicar uma alta pressão nas roldanas para garantir um tracionamento sem falhas. Por outro lado, se o torque no freio for muito baixo, o arame poderá se emaranhar quando a alimentação for interrompida.

A tocha

Em princípio, pode ser utilizada uma tocha MIG comum com capacidade suficiente para a tarefa a ser executada. O conduíte deve ser de aço espiral com o diâmetro correto para atuar como guia da melhor forma possível. A mangueira deve ser mantida a mais retilínea possível, sem curvas e sem estar emaranhada.

Como os arames tubulares OK são relativamente macios, é desejável que o bocal de saída do alimentador esteja o mais próximo possível das roldanas e que o arame tubular OK seja guiado até atingir o conduíte de aço espiral. Isso evita que o arame tubular OK seja deformado caso ele agarre no bico de contato ou aconteça algum outro problema de alimentação.

O bico de contato

O bico de contato deve ser escolhido para combinar com o diâmetro do arame tubular OK selecionado. Ele tem um papel muito im-

portante na transferência da corrente de soldagem através do arame OK que é alimentado ao arco e à peça. É portanto necessário verificar seu desgaste e sua funcionalidade periodicamente. Usar bicos de contato desgastados e queimados na crença de se pouparem recursos é uma falsa economia.

Quando o bico de contato é trocado, deve ser apertado corretamente para assegurar uma boa transferência de corrente. Pela mesma razão, é importante verificar se as conexões da mangueira no alimentador e o cabo terra estão corretamente apertados.

A posição normal do bico de contato em relação ao bocal deve ser de 2,0 - 5,0 mm para dentro para arames tubulares OK com fluxo não metálico. Uma distância maior pode causar inclusões de escória e penetração incompleta no metal solda. Se, por outro lado, o bico de contato ficar protuberante ao bocal, a proteção do gás será menos efetiva. Esta configuração pode ser aplicada em casos especiais de acesso difícil.

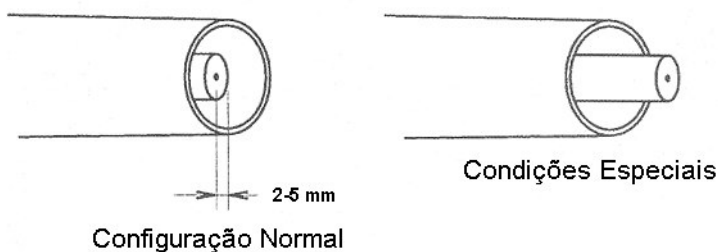


Figura 23 - Configurações do bico de contato

Capítulo 8

Técnicas de soldagem

Manipulação da tocha

Juntas em ângulo na posição vertical

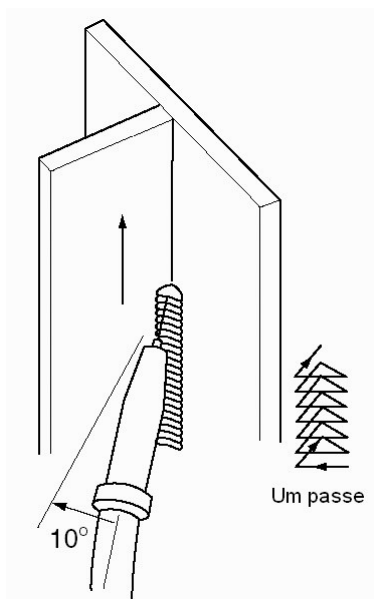


Figura 24 - Oscilação triangular para filetes em um só passe. Se necessário, os passes subsequentes devem ser depositados usando técnicas similares à do enchimento vertical em juntas de topo.

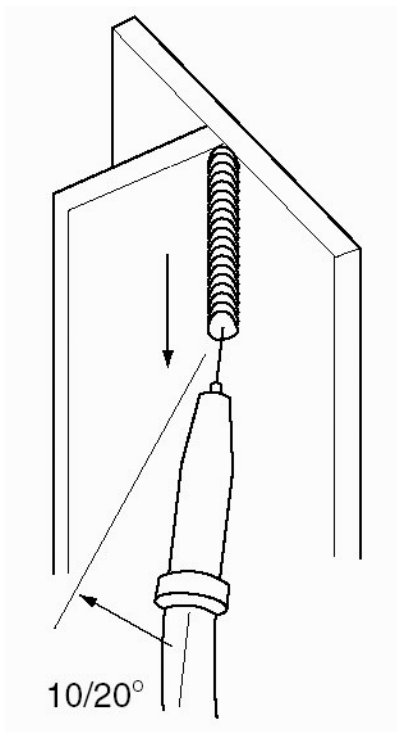


Figura 25 - Restringir a progressão descendente para chapas finas com perna até 6 mm. Pode ser usada para o 1º passe ou para juntas multipasse.

Juntas de topo na posição vertical

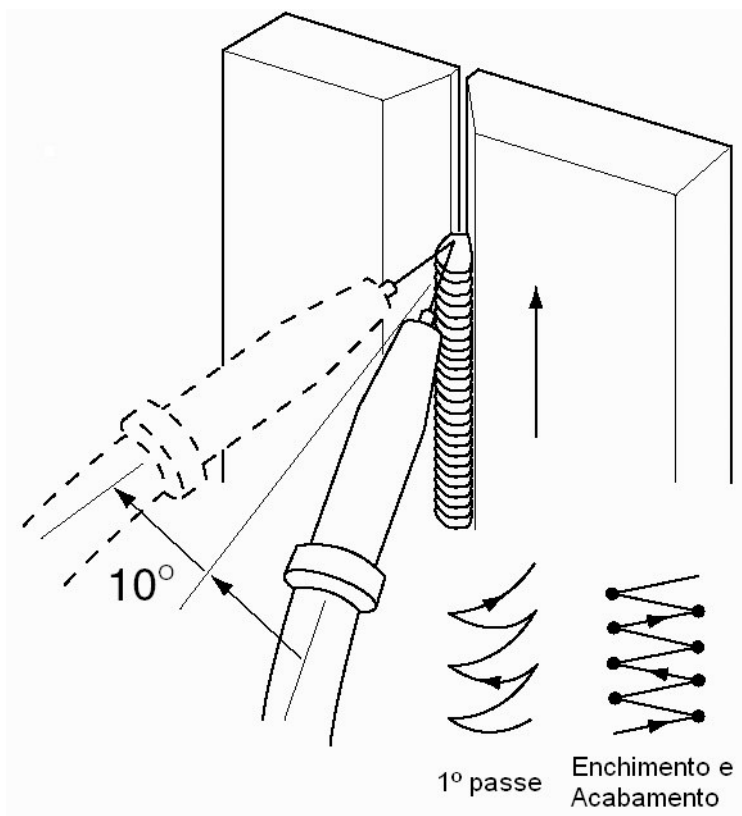


Figura 26 - Preparação do nariz. Pode ser usado um ângulo de 10° acima da horizontal para passes de raiz com o intuito de auxiliar na estabilidade do arco e no controle da penetração.

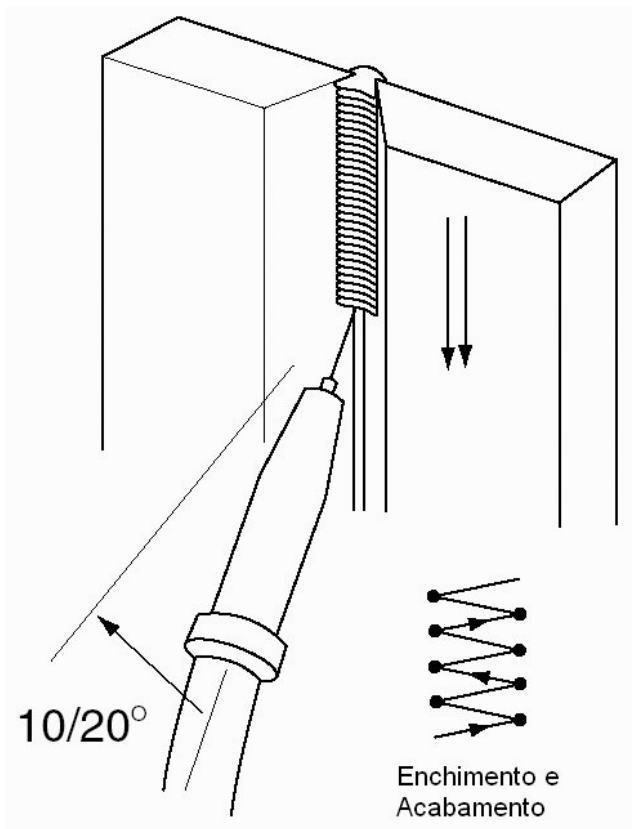


Figura 27 - Preparação com nariz zero

Uma velocidade de soldagem maior diminui o aporte térmico e as possibilidades de distorções. A técnica de oscilar é mais satisfatória para passes de solda largos – um único passe. Duas técnicas de oscilação são mostradas na progressão descendente (veja a Figura 28).

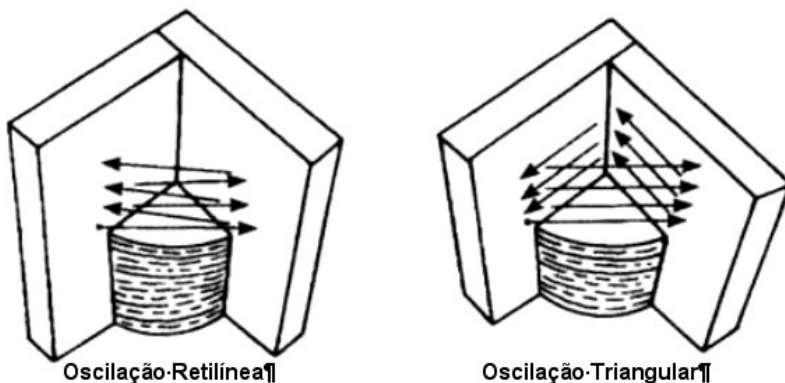


Figura 28 - Técnicas de oscilação na progressão descendente

Ângulos da tocha

Arames tubulares OK com fluxo não metálico

Com os arames tubulares OK com fluxo não metálico, o ângulo de ataque da tocha tem um efeito significativo no controle da escória e no perfil do depósito de solda. Para ambas as juntas em ângulo e de topo, o ângulo recomendado entre o eixo do arame e a linha da junta é entre 60° e 70° usando a técnica “puxando”, com o arame apontando para a solda já executada. Dessa forma, a força do arco evita que a escória corra à frente da poça de fusão e reduz o risco de a escória ficar presa (veja a Figura 29).

Para juntas em ângulo, a ponta do arame deve ser dirigida para a chapa de base a aproximadamente 3 mm da linha da junta com um ângulo de 45° entre a tocha e a chapa vertical (veja a Figura 29).

Em certos casos, a técnica “empurrando” pode ser usada com vantagens. Em pequenos filetes de solda, onde a penetração não for de grande importância, as maiores velocidades de soldagem aplicadas são tais que a escória líquida é impedida de correr à frente da poça de fusão. Essa técnica traz também a vantagem de produzir um filete mais plano, enquanto que a técnica “puxando” tende a produzir um perfil mais convexo.

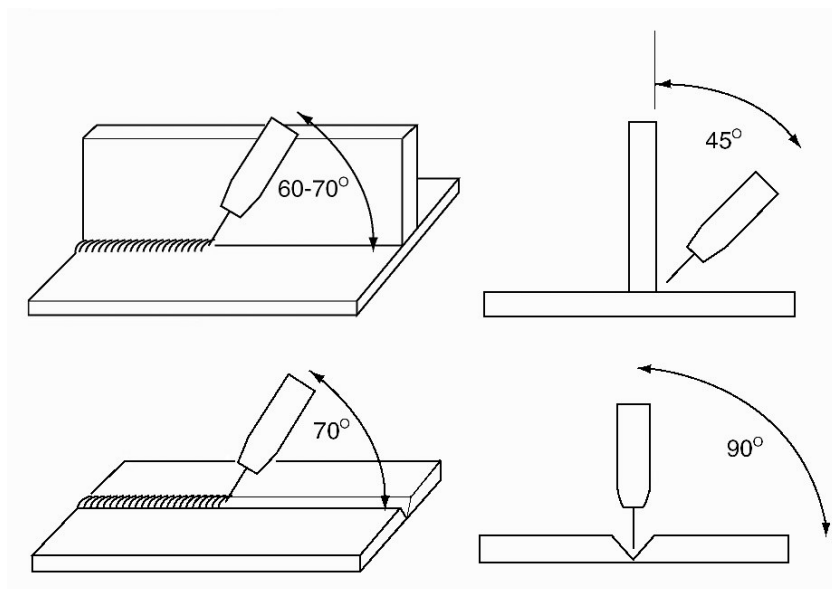


Figura 29 - Técnica de soldagem para arames tubulares OK com fluxo não metálico

Arames tubulares OK metálicos

Máximas penetrações são obtidas empregando a técnica “puxando” com um ângulo da tocha entre 70° e 80° entre o eixo do arame e a linha da junta. Essa técnica também servirá para otimizar a

proteção do gás, sendo particularmente relevante em juntas de topo multipasses. Para juntas em ângulo e sobrepostas, consegue-se uma aparência superior aplicando um ângulo de tocha entre 60° e 70° e a técnica “empurrando”. Essa técnica resulta em uma distribuição mais uniforme do metal de solda, seguida por uma redução na penetração (veja a Figura 30).

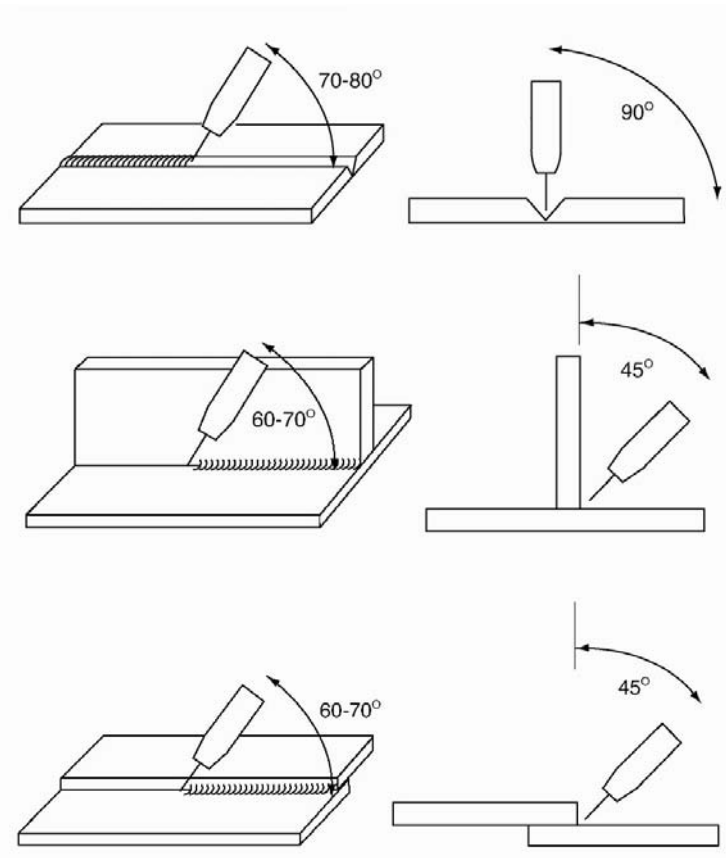


Figura 30 - Técnicas de soldagem para arames tubulares OK metálicos

Velocidade de soldagem

A velocidade de soldagem tem uma influência importante na penetração. Por exemplo, aplicando-se um arame tubular OK metálico de diâmetro 1,6 mm a 350 A, um aumento na velocidade de soldagem de 30 cm/min para 60 cm/min aproximadamente dobra a penetração na raiz de uma junta em ângulo. Para velocidades acima de 80/100 cm/min, a penetração diminui.

Da mesma forma, ocorre uma redução na penetração se a velocidade de soldagem baixar para valores menores que 30 cm/min, tendo em vista que o arco pode tender mais para a poça de fusão do que para o metal de base. Ainda, o uso de baixas velocidades de soldagem deve ser evitado quando são requeridas propriedades de impacto a baixas temperaturas. Mesmo que a junta possa ser preenchida em poucos passes, os volumosos depósitos de solda resultarão em grandes aportes térmicos e por isso a tenacidade ao impacto será reduzida. Além disso, no caso de arames tubulares OK com fluxo não metálico, deve ser considerada a dificuldade de controle da escória a baixas velocidades de soldagem, que pode passar à frente da poça de fusão e gerar inclusões de escória.

Capítulo 9

Recomendações

Armazenagem

Tradicionalmente, arames tubulares OK não requerem procedimentos de estocagem especiais. A embalagem em saco plástico com a presença de sílica-gel tem provado ser uma proteção adequada, quando o produto é armazenado a uma temperatura mínima de 18°C, a uma umidade relativa máxima de 70%.

A ESAB recomenda o empilhamento máximo de sete caixas, uma sobre a outra. Caso seja necessário empilhamento de paletes, deve-se usar suporte de madeira entre os paletes.

No entanto, para aplicações onde é requerido um controle rígido do nível de hidrogênio, recomenda-se o seguinte procedimento:

- ❑ Armazenagem

- Embalagens originais não violadas

- Temperatura ambiente mínima: + 18°C

- Umidade relativa máxima: 70%

- ❑ Estufagem

- Remover a caixa externa, o saco plástico, a sílica-gel, o suporte de papelão e o papel parafinado

- Faixa de temperatura: 45 - 50°C

Boas práticas

Não há diferenças práticas no serviço e na manutenção durante a soldagem de arames sólidos ou de arames tubulares OK. Por isso, são recomendadas as seguintes atividades:

- ❑ verificar periodicamente o bico de contato;
- ❑ remover os respingos acumulados no interior do bocal e no bico de contato;
- ❑ limpar o conduíte na direção de alimentação do arame tubular OK;
- ❑ limpar as roldanas e o bocal guia;
- ❑ quaisquer componentes ou peças que mostrem sinais de desgaste ou de avaria devem ser substituídos.

Outros cuidados não menos importantes que devem ser observados são os seguintes:

- ❑ evitar contato das mãos no arame tubular – provoca oxidação;
- ❑ recomendamos proteger a bobina com plástico no final do expediente – o ideal é voltar a bobina para a estufa, principalmente em locais com umidade alta;
- ❑ abrir a embalagem somente no momento do uso;
- ❑ evitar uso de anti-respingo nas juntas – provoca porosidade. Usar somente no bocal, e atenção aos excessos de anti-respingo no bocal;
- ❑ evitar soldagem em juntas oxidadas, com tintas de fundo (*primer*), zarcão, tintas em geral e tinta de traçagem.

Capítulo 10

Defeitos na soldagem – causas e soluções

Problema	Causa Possível	Solução
Porosidade	Gás de proteção insuficiente ou excessivo	Verificar o fluxo de gás recomendado
	Extensão do eletrodo excessiva	Reduzir a extensão do eletrodo (veja a Tabela IX até a Tabela XI nas páginas 85 até 87)
	Bocal muito curto	Substituir o bocal
	Impurezas e condições das peças	Remover as substâncias não metálicas
	Falha no equipamento de controle de fluxo de gás	Verificar quanto a vazamentos e entrada de ar
Alimentação de arame deficiente	Diâmetro incorreto do bico de contato	Verificar e substituir o bico de contato
	Conduíte ou bico de contato danificados	Substituir o conduíte ou o bico de contato
	Tipo, dimensões ou pressão incorretos dos roletes	Veja o manual do equipamento
	Freios excessivamente acionados	Verificar o tensionamento e aliviar se necessário
	Conduíte bloqueado	Remover a obstrução ou substituir o conduíte

Problema	Causa Possível	Solução
Inclusões de escória	Técnica de soldagem inadequada	Veja o Capítulo 8
	Direcionamento da tocha ("puxando" ou "empurrando")	Veja o Capítulo 8
Mordedura	Velocidade de soldagem muito alta	Reduzir a velocidade de soldagem ou verificar os parâmetros de soldagem
	Ângulo da tocha incorreto	Veja o Capítulo 8
	Tensão do arco muito alta	Reduzir a tensão do arco
Falta de penetração	Corrente muito baixa	Aumentar a corrente
	Extensão do eletrodo muito longa para a corrente aplicada	Veja o item Extensão do eletrodo na página 58
	Velocidade de soldagem inconsistente ou incorreta	Ajustar a velocidade de soldagem para adequá-la à penetração
	Ângulo da tocha ou direção de soldagem	Veja o Capítulo 8
	Abertura insuficiente na raiz	Modificar a preparação das peças e a montagem
Nariz muito grande	Modificar a preparação das peças	
Falta de fusão	Direção e velocidade de soldagem	Veja o Capítulo 8
	Ângulo da tocha incorreto	Veja o Capítulo 8
	Parâmetros incorretos ou manipulação incorreta da tocha	Verificar os parâmetros recomendados para o arame tubular OK Tubrod® em questão e as observações sobre a manipulação da tocha (veja o Capítulo 8)

Problema	Causa Possível	Solução
Respingo excessivo	Peças sujas	Limpar as peças com escova ou lixadeira
	Tensão do arco muito alta comparativamente à corrente	Verificar quanto aos valores recomendados
	Pressão do gás de proteção muito alta	Verificar quanto aos valores recomendados (veja o item Vazão do gás de proteção na página 63)
	Corrente falhando ou irregular	Verificar o diâmetro do bico de contato ou substituí-lo se estiver desgastado
Trincas	Escolha errada do arame para o metal de base	Substituir pelo arame adequado
	Pré-aquecimento requerido e não sendo aplicado	Pré-aquecer as peças à temperatura adequada
	Trincas por tensões devido a procedimento impróprio	Modificar o procedimento
	Seqüência inadequada de cordões	Soldar os cordões do centro da junta para a parte mais aberta
	Aporte térmico muito alto	Reduzir o aporte térmico
	Restrição excessiva da junta	Reduzir as restrições da junta

Tabela VIII - Defeitos na soldagem - causas e soluções

Capítulo 11

Dados práticos de soldagem

Existe uma faixa de corrente aplicável para cada diâmetro de arame tubular OK, que fornece uma determinada taxa de deposição, conforme pode ser observado na Figura 31. Na escolha do arame tubular OK, é necessário fazer uma avaliação da faixa de corrente que será aplicada, dependente da espessura das peças a serem soldadas, das posições de soldagem e de outros fatores.

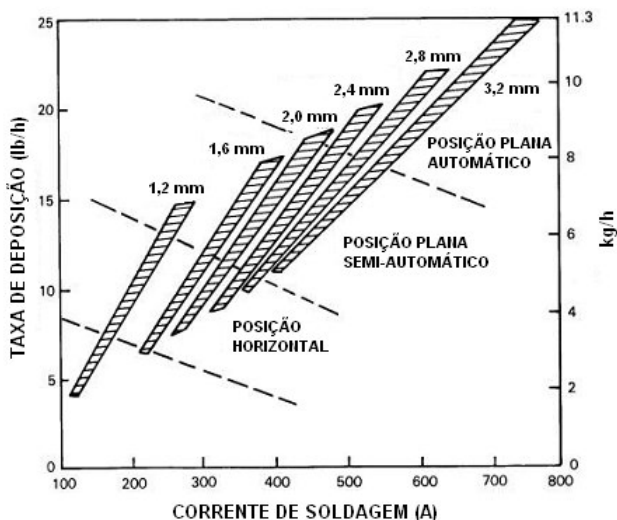


Figura 31 - Relação entre a corrente de soldagem e a taxa de deposição

A Tabela IX até a Tabela XIV mostram taxas de deposição e eficiências de deposição obtidas com os diversos arames tubulares OK em função da corrente, tensão e extensão de eletrodo aplicadas, bem como as faixas de parâmetros de soldagem mais adequadas para cada caso.

Arames tubulares OK Tubrod[®] básicos

Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Taxa Deposição (Kg/h)	Eficiência Deposição (%)	Extensão Eletrodo (mm)
1,2	150	29	2,00	90	20
	210	30	2,95	90	20
	250	32	3,95	91	25
	290	34	4,95	91	25
	330	35	5,85	92	25
1,6	190	30	2,85	91	25
	300	34	4,70	91	25
	365	35	5,70	92	25
	410	36	6,45	93	25
	450	36	7,40	94	25
	500	37	9,21	94	25

Tabela IX - Parâmetros de soldagem para arames tubulares OK Tubrod[®] básicos

Arames tubulares OK Tubrod[®] rutilicos

Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Taxa Deposição (Kg/h)	Eficiência Deposição (%)	Extensão Eletrodo (mm)
1,2	150	28	1,90	87	10 - 20
	210	29	2,85	87	10 - 20
	250	30	3,85	88	10 - 20
	290	33	4,85	88	10 - 20
	330	34	5,75	90	10 - 20
1,6	190	27	2,75	87	10 - 20
	300	30	4,60	87	10 - 20
	365	33	5,60	88	10 - 20
	410	33	6,35	89	10 - 20
	450	33	7,30	90	10 - 20
	500	39	9,11	90	10 - 20
2,4	350	30	4,35	88	20 - 32
	400	30	5,70	84	20 - 32
	450	31	6,80	85	20 - 32
	500	32	8,30	86	20 - 32
	550	34	9,60	86	20 - 32

Tabela X - Parâmetros de soldagem para arames tubulares OK Tubrod[®] rutilicos

Arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos

Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Taxa Deposição (Kg/h)	Eficiência Deposição (%)	Extensão Eletrodo (mm)
1,2	150	28	1,90	92	10 - 20
	210	29	2,85	92	10 - 20
	250	30	3,85	93	10 - 20
	290	33	4,85	95	10 - 20
	330	34	5,75	95	10 - 20
1,6	190	27	2,75	91	10 - 20
	300	30	4,60	91	10 - 20
	365	33	5,60	93	10 - 20
	410	33	6,35	94	10 - 20
	450	33	7,30	95	10 - 20
	500	39	9,11	96	10 - 20
2,4	450	31	6,80	94	20 - 32
	500	32	8,40	95	20 - 32
	550	34	9,65	95	20 - 32

Tabela XI - Parâmetros de soldagem para arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos

Parâmetros de soldagem sugeridos

Arames tubulares OK Tubrod[®] básicos

Diâmetro (mm)	Posição	Corrente (A)	Tensão (V)
1,2	Plana	250	31
	Horizontal	240	30
	Vertical Ascendente	140	24
	Sobre-cabeça	140	24
1,6	Plana	360	33
	Horizontal	260	32
	Vertical Ascendente	190	26
	Sobre-cabeça	190	26

Tabela XII - Parâmetros de soldagem sugeridos para arames tubulares OK Tubrod[®] básicos

Arames tubulares OK Tubrod[®] rutilicos

Diâmetro (mm)	Posição	Corrente (A)	Tensão (V)
1,2	Plana / Horizontal	150 – 290	23 – 30
	Vertical Ascendente	150 – 250	22 – 26
	Sobre-cabeça	150 – 250	23 – 26
1,6	Plana / Horizontal	180 – 400	25 – 34
2,4	Plana / Horizontal	350 – 550	26 – 33

Tabela XIII - Parâmetros de soldagem sugeridos para arames tubulares OK Tubrod[®] rutilicos

Arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos

Diâmetro (mm)	Posição	Corrente (A)	Tensão (V)
1,2	Plana / Horizontal	265	30
	Vertical Ascendente	150	25
	Sobre-cabeça	150	25
1,6	Plana / Horizontal	330	32
	Vertical Ascendente	210	27
2,4	Plana / Horizontal	480	32

Tabela XIV - Parâmetros de soldagem sugeridos para arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos

Capítulo 12

Especificações ASME / AWS

ASME SFA-5.18 (AWS A 5.18)

Essa especificação é aplicável a arames sólidos e arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos para a soldagem de aços carbono.

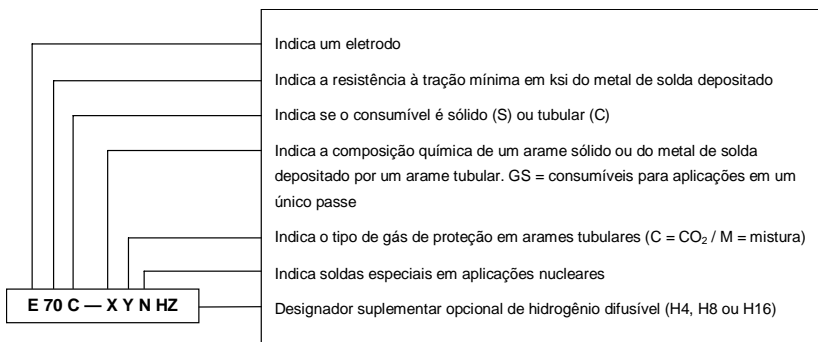


Figura 32 - Designação AWS para arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos para a soldagem de aços carbono

ASME SFA-5.20 (AWS A 5.20)

Essa especificação é aplicável a arames tubulares OK Tubrod[®] com fluxo não metálico para a soldagem de aços carbono.

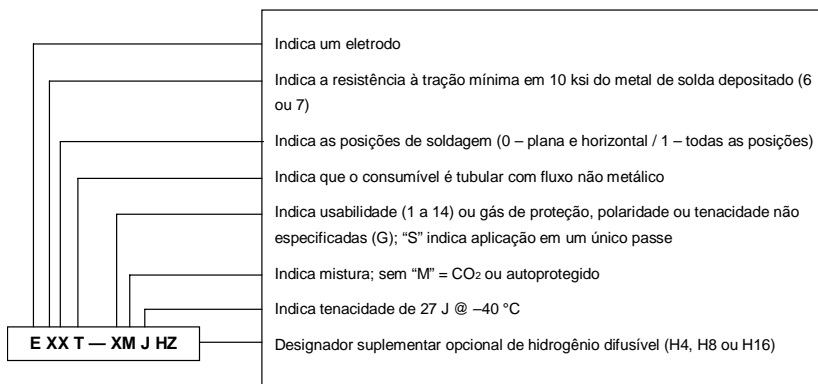


Figura 33 - Designação AWS para arames tubulares OK Tubrod[®] com fluxo não metálico para a soldagem de aços carbono

ASME SFA-5.28 (AWS A 5.28)

Essa especificação é aplicável a arames sólidos e a arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos para a soldagem de aços de baixa liga.

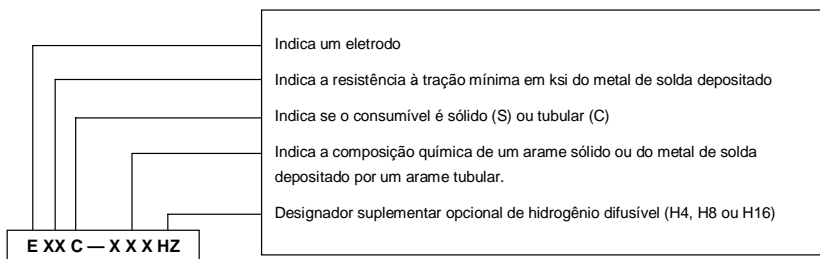


Figura 34 - Designação AWS para arames tubulares OK Tubrod[®] metálicos para a soldagem de aços de baixa liga

ASME SFA-5.29 (AWS A 5.29)

Essa especificação é aplicável a arames tubulares OK Tubrod[®] com fluxo não metálico para a soldagem de aços de baixa liga.

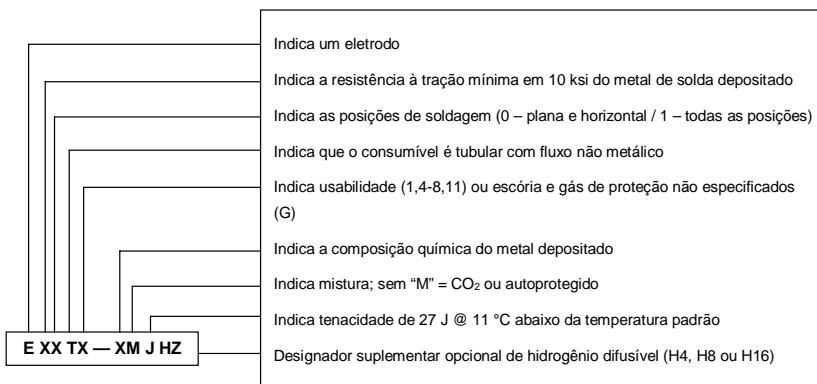


Figura 35 - Designação AWS para arames tubulares OK Tubrod[®] com fluxo não metálico para a soldagem de aços de baixa liga

Capítulo 13

Procedimentos de soldagem

OK Tubrod[®] 75 Material: BS4360-50D Espessura: 50 mm Posição: ASME IX - 1G Pré-aquecimento: 100°C mín. Entrepasses: 250°C máx.									
Parâmetros:									
∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)					
1,2	1-7	140	18	1,6					
1,6	8-9	160	18	1,8					
1,6	10-15	170	20	2,4					
1,2	16-17	130	18	1,3					
1,2	18	130	18	2,1					
1,6	19	160	22	2,4					
1,6	20	160	22	2,6					
Propriedades mecânicas									
Temp. teste	Ch V (J) - superfície			Ch V (J) - raiz			Teste de tração longitudinal: LR = 590 MPa LE = 530 MPa		
-30°C	81	74	98	56	58	60			
-40°C	82	50	96	58	50	46			
-50°C	21	38	44	44	48	37			
-60°C	21	25	28	42	42	38			

OK Tubrod® 75 Material: BS4360 Espessura: 50 mm Posição: ASME IX - 3G Parâmetros:					
∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)	
1,2	1-32	155	20	2,4	
Propriedades mecânicas					
Temp. teste	Ch V (J) - solda			Ch V (J) - raiz	
-20°C	50	59	67	63	78 97

OK Tubrod® 81 Ni1 Material: API 5L-X60 Espessura: 28 mm Posição: ASME IX - 6G Parâmetros:					
∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)	
1,2	1-2	180	24	0,9	
1,2	3-10	200	25	1,6	
1,2	11-15	190	24	2,2	
Propriedades mecânicas					
Temp. teste	Ch V (J) - linha de centro				
-40°C	130	108	106		
	119	118	130		

OK Tubrod® 81 Ni1 Material: RAEX 385 Espessura: 16 mm Posição: ASME IX - 2G				
Parâmetros:				
∅ (mm)	Passe	A	V	
1,2	1	200	25	
1,2	2-17	230	26	
Propriedades mecânicas				
Temp. teste	Ch V (J) - linha de centro			
-20°C	98	108	98	
-40°C	72	66	58	
-50°C	39	58	46	

OK Tubrod® 81 Ni1 Material: RAEX 385 Espessura: 16 mm Posição: ASME IX - 4G				
Parâmetros:				
∅ (mm)	Passe	A	V	
1,2	1	200	25	
1,2	2-15	220	26	
Propriedades mecânicas				
Temp. teste	Ch V (J) - linha de centro			
-20°C	108	121	134	
-40°C	71	93	83	
-50°C	53	29	45	

OK Tubrod® 81 Ni1 Material: BS4360-50D Espessura: 40 mm Posição: ASME IX - 2G Pré-aquecimento: 100°C mín. Entrepassos: 250°C máx.									
Parâmetros:									
∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)					
1,2	1	215	23	1,9					
1,2	2	230	23	1,6					
1,2	3-42	240	25	1,1					
1,2	43-51	250	26	0,8					
Propriedades mecânicas									
Temp. teste	Ch V (J) - superfície			Ch V (J) - raiz			Ch V (J) - raiz goivada		
-30°C	110	101	119	91	75	90	129	121	136
-40°C	76	104	98	98	84	75	132	104	116
-50°C	110	84	82	49	82	77	75	93	97

OK Tubrod® 81 Ni1 Material: BS4360-50D Espessura: 50 mm Posição: ASME IX - 3G Pré-aquecimento: 100°C mín. Entrepassos: 250°C máx.									
Parâmetros:									
∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)					
1,2	1	115	21	1,5					
1,2	2-4	180	23	1,6					
1,2	5-25	170	22	1,5					
Goivagem e contra-solda									
1,2	26-37	170	23	1,6					
Propriedades mecânicas									
Temp. teste	Ch V (J) - superfície			Ch V (J) - raiz					
-30°C	151	115	137	72	113	124			
-40°C	120	141	126	53	112	52			
-50°C	136	130	97	24	72	55			

OK Tubrod® 81 Ni1 Material: BS4360-50D Espessura: 40 mm Posição: ASME IX - 3G Pré-aquecimento: 100°C mín. Entrepasses: 250°C máx.									
Parâmetros:									
∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)					
1,2	1	185	21	2,9					
1,2	2-36	195	23	1,1					
1,2	37-42	180	22	1,0					
1,2	43-47	180	22	1,0					
Propriedades mecânicas									
Temp. teste	Ch V (J) - superfície			Ch V (J) - raiz			Ch V (J) - raiz goivada		
-30°C	138	142	147	94	109	109	95	104	98
-40°C	104	108	76	94	69	98	108	96	108
-50°C	89	54	67	74	63	57	81	84	83

OK Tubrod® 81 Ni1 Material: BS4360-50D Espessura: 50 mm Posição: ASME IX - 3G Pré-aquecimento: 75°C mín. Entrepasses: 250°C máx.									
Parâmetros:									
∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)					
1,2	1	160	23	2,3					
1,2	2	200	26	2,0					
1,2	3-5	210	26	2,4					
1,2	6-9	220	26	2,2					
Esmerilhamento									
1,2	10-16	200	26	2,3					
1,2	17-22	210	26	2,2					
Propriedades mecânicas									
Temp. teste	Ch V (J) - superfície 1			Ch V (J) - superfície 2			Ch V (J) - raiz		
-40°C	69	80	94	88	84	42	57	48	100
	86	38	méd.73	114	102	méd.86	23	42	méd.54

<p>OK Tubrod® 115 Material: Q2 (N) Espessura: 50 mm Posição: ASME IX - 2G Pré-aquecimento: 120°C mín. Entrepasses: 150°C máx.</p> <p>Parâmetros:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>∅ (mm)</th> <th>Passe</th> <th>A</th> <th>V</th> <th>Aporte térmico (KJ/mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,6</td> <td>1</td> <td>300</td> <td>25</td> <td>1,4</td> </tr> <tr> <td>1,6</td> <td>2-8</td> <td>290</td> <td>25</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>1,6</td> <td>9-20</td> <td>280</td> <td>25</td> <td>1,1</td> </tr> <tr> <td>1,6</td> <td>21-27</td> <td>270</td> <td>25</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Contra-solda</td> </tr> <tr> <td>1,6</td> <td>28-30</td> <td>300</td> <td>25</td> <td>1,9</td> </tr> <tr> <td>1,6</td> <td>31-39</td> <td>275</td> <td>25</td> <td>1,5</td> </tr> </tbody> </table>					∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)	1,6	1	300	25	1,4	1,6	2-8	290	25	1,2	1,6	9-20	280	25	1,1	1,6	21-27	270	25	0,9	Contra-solda					1,6	28-30	300	25	1,9	1,6	31-39	275	25	1,5					
∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)																																													
1,6	1	300	25	1,4																																													
1,6	2-8	290	25	1,2																																													
1,6	9-20	280	25	1,1																																													
1,6	21-27	270	25	0,9																																													
Contra-solda																																																	
1,6	28-30	300	25	1,9																																													
1,6	31-39	275	25	1,5																																													
<p>Propriedades mecânicas</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Temp. teste</th> <th colspan="3">Ch V (J) - lado 1</th> <th colspan="3">Ch V (J) - lado 2</th> <th rowspan="2">Teste de tração longitudinal: lado 1 LR = 810 MPa LE = 760 MPa lado 2 LR = 790 MPa LE = 740 MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-50°C</td> <td>78</td> <td>83</td> <td>87</td> <td>78</td> <td>83</td> <td>98</td> </tr> <tr> <td></td> <td>88</td> <td>110</td> <td></td> <td>105</td> <td>108</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										Temp. teste	Ch V (J) - lado 1			Ch V (J) - lado 2			Teste de tração longitudinal: lado 1 LR = 810 MPa LE = 760 MPa lado 2 LR = 790 MPa LE = 740 MPa	-50°C	78	83	87	78	83	98		88	110		105	108																			
Temp. teste	Ch V (J) - lado 1			Ch V (J) - lado 2			Teste de tração longitudinal: lado 1 LR = 810 MPa LE = 760 MPa lado 2 LR = 790 MPa LE = 740 MPa																																										
-50°C	78	83	87	78	83	98																																											
	88	110		105	108																																												

OK Tubrod® 115 Material: Q2 (N) Espessura: 50 mm Posição: ASME IX - 1G Pré-aquecimento: 120°C mín. Entrepassos: 150°C máx. Parâmetros:										
∅ (mm)	Passe	A	V	Aporte térmico (KJ/mm)						
1,6	1	340	26	1,5						
1,6	2-5	340	27	1,3						
1,6	6-28	340	27	1,4						
Contra-solda										
1,6	29	340	25	1,0						
1,6	30-32	340	26	1,0						
1,6	33-40	340	27	1,3						
Propriedades mecânicas										
Temp. teste	Ch V (J) - lado 1			Ch V (J) - lado 2			Teste de tração longitudinal: lado 1 LR = 740 MPa LE = 700 MPa lado 2 LR = 760 MPa LE = 700 MPa			
-40°C	115	120	123	122	141	136				
-50°C	110	122	136	140	135	148				
-60°C	82	98	110	87	92	100				

Bibliografia

- ❑ ESAB OK Tubrod® Cored Wires – Product Brief – 1999 Edition.
- ❑ Cored Wires, Svetsaren Vol. 51, No. 1-2, 1996.
- ❑ Tubular Wire Welding, David Widgery, 1994.
- ❑ AWS Welding Handbook, Vol. 2, Caps. 4 e 5.