



# Soldabilidade do Aço Inoxidável

## Introdução

Os aços inoxidáveis são um grupo de aços de alta liga que contêm pelo menos 12% de cromo. Em geral, são ligados por um número de outros elementos que os tornam resistentes em diversos ambientes.

Estes elementos também modificam a microestrutura da liga que, por sua vez, tem uma influência distinta sobre as suas propriedades mecânicas e de soldabilidade.

Os aços inoxidáveis podem ser classificados em cinco grupos:

- Aços inoxidáveis austeníticos, que contêm 12-27% de cromo e 7-25% de níquel.
- Os aços inoxidáveis ferríticos, que contêm 12-30% de cromo, com um teor de carbono inferior a 0,1%.
- Aços inoxidáveis martensíticos, que têm teor de cromo entre 12 e 18% com 0,15-0,30% de carbono.
- Aços austeno-ferríticos (Duplex) aços inoxidáveis, que contêm 18-25% de cromo, 3-5% de níquel e até 3% de molibdénio.
- Aços Martensítico-austeníticos, que têm 13-16% de cromo, níquel de 5-6% e 1-2% de molibdénio.

Os três primeiros grupos serão discutidos em abaixo em maior detalhe.

## Aços Inoxidáveis Austeníticos

Este é, de longe, o grupo maior e mais importante na gama de aço inoxidável. Esses aços, que exibem um elevado nível de

capacidade de soldadura, estão disponíveis numa grande variedade de composições tais como os tipos AISI 304 19/9, 25/20 AISI 310 tipos AISI 316 e 19/12/2, que são utilizados em geral para fabricações de aço inoxidável, aplicações de temperatura elevada e resistência à corrosão localizada, respectivamente.

Como o nome implica, a microestrutura do aço inoxidável austenítico consiste inteiramente de ferros finos de austenite.

Quando sujeito à soldadura, no entanto, uma fase ferrítica secundária pode ser formada nas fronteiras nos grãos de austenite, na zona afectada pelo calor e no metal soldado. A extensão da formação desta fase secundária pode depender da composição do aço ou do material de adição e do aporte técnico durante a soldadura.

Enquanto a formação de ferrite delta pode ter efeitos negativos na resistência à corrosão e formação de fase sigma operativa em temperaturas entre 500 e 900 ° C, na ferrite delta em metal de soldadura é necessário para ultrapassar a possibilidade de fissuração a quente.

No geral, os consumíveis de soldadura austeníticos depositam 4-12% de ferrite delta. Para aplicações especiais (ex: quando os aços dissimilares são soldados sob condições de alta resistência), os consumíveis austeníticos podem exigir acima de 40% de ferrite delta. O conteúdo da ferrite delta pode ser calculado pela utilização dos procedimentos indicados no fim desta secção através do diagrama Schaeffler.

O conteúdo de carbono do aço inoxidável austenítico é mantido a níveis baixos para superar qualquer possibilidade de



precipitação de carbonetos, onde o cromo combinado com carbono existente nas proximidades dos limites dos grãos para produzir uma zona pobre em cromo e, assim, tornando-se susceptível à corrosão intergranular.

O titânio e os aços ao nióbio estabilizado AISI 321 e 347, juntamente com ELC (extra baixo carbono) estão disponíveis para superar mais facilmente este problema.

### **Os Aços inoxidáveis Ferríticos**

Estes tipos de aço, que contêm 12-30% de cromo e conteúdo de carbono abaixo dos 0.10% não exibem uma boa soldabilidade do tipo austenítico. Estes tornam-se completamente ferríticos a altas temperaturas e desenvolvem-se mais rapidamente, o que leva o calor a afectar as zonas frágeis no produto fabricado. O não refinamento dessa estrutura grosseira é possível sem trabalho a frio e recristalização. Além disso, a austenite formada a temperaturas elevadas pode formar martensite durante a transformação, o que pode causar problemas de fissuração. A fragilidade e pobre ductilidade destes materiais têm limitado suas aplicações na soldadura.

Os aços inoxidáveis ferríticos também estão sujeitos à corrosão intergranular, como resultado de depleção de precipitação de carbonetos de cromo. O titânio estabilizado ao nióbio, aços ferríticos e aços com baixos interstícios adicionais (isto é, C, N) estão disponíveis para superar este problema.

Uma vez que este material tem um coeficiente de expansão menor do que a dos aços de carbono ao manganês, o empenamento e a distorção durante a soldadura é consideravelmente menor. São magnéticos,

no entanto, e, portanto, sujeitos a arco magnético. Os aços inoxidáveis ferríticos não podem ser endurecidos por processos de tratamento térmico convencionais.

### **Aços Inoxidáveis Martensíticos**

Aços inoxidáveis martensíticos contêm entre 12 e 18% de cromo com 0,15-0,30% de carbono. Devido à sua composição, estes aços são capazes de endurecimento ao ar e, assim, as precauções especiais devem ser tomadas durante a soldadura para ultrapassar possíveis fissurações. A fissuração a frio, como resultado de hidrogénio, que é experimentado com aços de baixa liga, também pode ocorrer em aços inoxidáveis martensíticos e, por conseguinte, devem ser utilizados consumíveis de hidrogénio controlado.

Os aços martensíticos, devido ao seu baixo teor de cromo e capacidade de resposta a tratamento térmico, têm aplicações para a resistência à corrosão limitada, mas são utilizados com sucesso a alta resistência e dureza aumentada (por exemplo, lâminas de turbina, cutelaria, etc).

Tal como no caso de aços inoxidáveis ferríticos, os tipos martensíticos têm um coeficiente de expansão menor do que os aços macios e são magnéticos.

### **Procedimento para Soldadura de Aços Inoxidáveis**

O procedimento para a soldadura de aços inoxidáveis não difere muito da soldadura de aço macio. O material a ser tratado, no entanto, é caro e as condições exigentes de serviço são geralmente necessárias, necessitando de precauções adicionais e atenção aos detalhes.



O aço inoxidável pode ser soldado tanto em AC ou DC, com um arco mais curto possível de forma a superar qualquer possibilidade de perda de liga através do arco. Quando se utiliza corrente alterna, pode ser necessária uma configuração de corrente ligeiramente mais elevada.

Ao soldar ao baixo, devem ser utilizados suportes e, o balanceamento do arco for necessário, esta deve ser limitada a 2 vezes o diâmetro do eléctrodo. O aporte térmico, o que pode afectar negativamente a resistência à corrosão e conduzir a uma distorção excessiva, deve ser limitada através da utilização do diâmetro correcto do eléctrodo para dar o perfil com as propriedades requeridas e à velocidade máxima.

Em todos os casos, a entrada de calor deve ser limitada para 1.5kJ / mm.

São dadas abaixo notas para os diferentes tipos de aço inoxidável.

### **Aços Austeníticos**

Como os aços inoxidáveis austeníticos têm um coeficiente de expansão 50% maior do que os aços de carbono e manganês, a distorção e deformação podem ser um problema. As correntes de soldadura devem, portanto, ser mantidas tão baixo quanto possível, com altas velocidades; o alinhamento deve ser levado a cabo a cerca de metade do campo utilizado para o aço macio e a soldadura deve ser equilibrada e devidamente distribuída. O pré-aquecimento não deve ser aplicado e tratamento térmico pós-soldadura deste material raramente é necessário.

Os aços inoxidáveis austeníticos são normalmente soldados com eléctrodos de composição correspondente ao material de base. Consulte a tabela no final desta seção para recomendações específicas.

### **Aços Ferríticos**

A necessidade de pré-aquecimento é determinada em grande medida pela composição, propriedades mecânicas desejadas, espessura e condições de contenção. Pré-aqueça, quando aplicado, normalmente a uma temperatura não superior a 200°C.

Alguns aços inoxidáveis ferríticos podem formar carbonetos de cromo nos limites dos grãos de ferrite durante a soldadura. Para estes tipos, um tratamento térmico pós-soldadura de 700-800°C irá restaurar as propriedades de corrosão do material.

Para aplicações moderadamente corrosivas, e onde a presença de níquel no metal de soldadura pode ser tolerada, é recomendado um eléctrodo de aço inoxidável austenítico. Isso tenderia a aliviar muitos dos problemas de tenacidade de soldadura de aço inoxidável ferrítico, podendo evitar a necessidade de tratamento térmico pós-soldadura (ou seja, em muitos casos a, zona sensível afectada pelo calor, em entalhe estreito, poderia ser tolerada).

### **Aços Martensíticos**

Estes aços requerem um pré-aquecimento de 200-300°C, seguido de um arrefecimento lento depois da soldadura. Isto deve ser seguido, se possível, por um tratamento térmico pós-soldadura.

Os eléctrodos de aço inoxidável austenítico são normalmente utilizados para este material de soldadura.

### **Procedimento para a soldadura de aços revestidos**

A utilização de um material revestido, que consiste de um suporte de aço de liga macia ou baixa liga, unidos com aço inoxidável geralmente de 10 a 20% da espessura total, combina as propriedades mecânicas de um



material de suporte económico, com a resistência à corrosão do mais caro revestimento para o aço inoxidável. Este revestimento geralmente consiste de aço inoxidável austenítico do 18% de cromo, 8% de níquel ou 18% de cromo de 10% tipos de níquel, com ou sem adições de molibdénio, titânio e nióbio, ou um aço inoxidável martensítico de tipo cromo 13%.

O suporte deve ser soldado em primeiro lugar, assegurando ao mesmo tempo que a raiz do eléctrodo de aço macio não entra em contacto com o revestimento de liga. Isto pode ser conseguido de duas maneiras, quer cortando-se o revestimento de ambos os lados da raiz, ou solda com uma preparação extremidade fechada e um passo de raiz suficientemente grande.

Depois de soldar o lado do aço macio, a execução de raiz deve estar de volta das ranhuras e o lado revestido inoxidável deve ser soldado com um eléctrodo inoxidável de composição harmonizada. A utilização de um eléctrodo mais altamente ligado para a execução de raiz inicial no lado revestido é aconselhável. Isso vale principalmente para as preparações em que o corte de trás do revestimento faz levantamento a partir do aço macio difícil de evitar. Para obter a melhor resistência à corrosão são recomendadas, pelo menos, duas camadas de metal de solda inoxidável no lado revestido.

A soldadura de material revestido ou forrado com 13% de cromo (martensítico) os aços geralmente requerem um pré-aquecimento de 250°C e a utilização de eléctrodos austeníticos do tipo apropriado. A soldadura deve ser seguida por um tratamento térmico pós-soldadura, embora os resultados satisfatórios possam ser obtidos sem precauções se nestas, durante a soldadura, a

dissipação de calor for mantida a um mínimo. Isso vai ajudar a temperar a zona afectada pelo calor, utilizando o acúmulo de calor nas áreas de soldaduras adjacentes.

### **Processamento para a Soldadura de Aços Inoxidáveis com Aços Macios ou de Baixa Liga**

Existem frequentemente situações em que se torna necessário soldar um aço inoxidável austenítico a uma liga macia ou baixa liga. Na seleção de um eléctrodo apropriado, o efeito da diluição do metal de soldadura deve ser considerado o material de base.

O metal de soldadura pode ser diluído entre 20 e 50%, dependendo da técnica de soldadura utilizada, é executado de raiz em juntas de topo sendo a diluição mais afectada uma vez que todas as execuções subsequentes são apenas em contacto parcial com o material de base e partilhado com pistas vizinhas.

Se um eléctrodo de aço macio ou baixa liga é utilizado para soldar aço inoxidável ao aço macio, o levantamento de cromo e níquel a partir do lado de aço inoxidável para a articulação poderia enriquecer o metal de solda em até 5% de cromo e 4% de níquel. Isto resultaria numa soldadura endurecida, sensível à fissuração.

Os eléctrodos de aço inoxidável austenítico, por conseguinte, são utilizados para a junção de metal combinações diferentes de materiais de aço inoxidável de liga de aços ferríticos leves e de baixa liga. No entanto, o tipo correcto, o que tem liga suficiente para superar os efeitos de diluição a partir do lado de aço de liga macia ou de baixa liga do conjunto, deve ser seleccionada porque, se o metal de soldadura não começar com um teor



de liga adequada, a soldadura final pode conter menos do que 17% de crómio e 7% de níquel. O metal de soldadura com teores de crómio e níquel inferiores são mais sensíveis à fissuração. Além disso, se, como resultado da diluição do metal de solda é incorrectamente equilibrada com níquel e crómio, pode não ter ferrite suficiente presente no metal de soldadura para evitar fissuras subseqüentes.

Por estas razões, os eléctrodos de aço inoxidável austenítico, tais como devem ser utilizados, como a sua composição foi especialmente equilibrada para assegurar que o teor total da liga é adequado para acomodar os efeitos de diluição e o seu teor de ferrite é suficiente para proporcionar uma elevada resistência ao calor e rachaduras.

### **Efeitos de elementos de liga e impurezas em aços inoxidáveis**

#### **Carbono (C)**

1. Um forte formador de austenite;
2. Soma-se a algumas ligas de alta resistência para endurecer e fortalecer.

#### **Manganês (Mn)**

1. Forma austenite.

#### **Silício (Si)**

1. Forma ferrite;
2. Utilizado para aumentar a resistência à corrosão de aços austeníticos;
3. Utilizado para melhorar a resistência a altas temperaturas;
4. Utilizado para melhorar a resistência dos aços a altas temperaturas à carborização;
5. Promove a molhagem do metal de solda a 0.8-1.0%.

#### **Crómio (Cr)**

1. Forma ferrite;
2. Principal contribuinte para a resistência à corrosão;
3. 12%, no mínimo essencial para passivação de crómio.

#### **Níquel (Ni)**

1. Forma austenite;
2. Fornece boa resistência a baixas temperaturas;
3. Utilizado para melhorar a resistência à corrosão geral contra líquidos não oxidantes;
4. Por vezes, adicionado em pequenas quantidades em junção ao crómio, melhora as propriedades mecânicas.

#### **Molibdénio (Mo)**

1. Forma ferrite;
2. Utilizado para melhorar a resistência a altas temperaturas e resistência à deformação;
3. Utilizado para melhorar a resistência à corrosão geral dos aços em meios não oxidantes, e a resistência à corrosão localizada em todos os meios.

#### **Cobre (Cu)**

1. Utilizado para melhorar a resistência à corrosão do aço inoxidável em ambientes onde a oxidação é mais reduzida.

#### **Nióbio (Nb)**

1. Forte formador de carbonetos, utilizado para estabilizar aços inoxidáveis austeníticos contra a precipitação de carbonetos de crómio prejudicial a 480-820°C;
2. Forte formador de ferrite;
3. Adicionado a algumas ligas de alta resistência para endurecer e fortalecer;
4. Soma-se a alguns aços inoxidáveis martensíticos como o crómio para prender o carbono e, conseqüentemente, reduzir a tendência de endurecimento dos aços.

#### **Titânio (Ti)**

1. Forte formador de carbonetos, utilizado para estabilizar aços inoxidáveis austeníticos contra a precipitação de carbonetos de crómio prejudicial a 480-820°C;
2. Forte formador de ferrite, adicionado a algumas ligas de alta resistência para endurecer e fortalecer;
3. Adicionado a algumas ligas de elevada resistência a quente para o seu endurecimento e fortalecimento.



### **Colbato (Co)**

1. Adicionado a várias ligas para dar força e resistência à deformação a alta temperatura.

### **Tungsténio (W)**

1. Melhora a resistência à alta temperatura e a deformação de algumas ligas.

### **Nitrogénio (N)**

1. Forte formador de austenite;  
2. Utilizado para minimizar os grãos formados nos aços de cromo a altas temperaturas.

## **Tipos de Corrosão**

### **Corrosão uniforme de uma superfície**

Ocorre quando a resistência à corrosão geral de um aço é insuficiente para resistir ao ataque do meio corrosivo. É necessário escolher outro aço que tem maior resistência corrosiva (isto é um maior teor de liga).

### **Corrosão localizada (Pitting)**

Certos produtos químicos, tais como o cloreto e alguns ácidos orgânicos, causam corrosão localizada na superfície do aço. Foi encontrada a presença de molibdénio contida no aço inoxidável para reduzir esta tendência.

### **Corrosão por tensão**

Alguns aços inoxidáveis de altas tensões residuais remanescentes após a fabricação serão, em certos casos, rápidos a falhar quando ocorre uma corrosão por tensão.

O melhor método para prevenir este problema é resolver logo de início. Outro método consiste em redesenhar para reduzir a concentração de tensões. Se nenhum desses métodos for possível ou económico, uma mudança para um material de liga mais elevada pode proporcionar a solução. A utilização de aços inoxidáveis austeníticos-ferríticos duplex também podem ser eficazes na prevenção de corrosão por tensão.

### **Desintegração por soldadura**

Se os aços estabilizados de Cr-Ni forem aquecidos a 500-900°C e deixados arrefecer lentamente, tornam-se mais facilmente propensos à corrosão. Esta condição pode ocorrer na zona afectada pelo calor, quando formada uma banda paralela à solda onde a resistência à corrosão é bastante reduzida. Isto é devido aos grãos de cromo nas áreas de fronteira grãos que combinam com o carbono. A precipitação subsequente de carbonetos de cromo deixa uma liga de depleção de cromo nos contornos de grão de muito menor resistência à corrosão. Quando o aço é imerso num meio corrosivo, estas áreas estão corroídas e os grãos de metal desfazem-se.

As adições de titânio ou nióbio são frequentemente feitas aos aços inoxidáveis de forma a agirem como «estabilizadores». Estes elementos têm uma maior afinidade para o carbono que tem o cromo e combiná-lo com a forma inofensiva de titânio ou carbonetos de nióbio. Desta forma, se os limites dos grãos não estiverem corroídos de cromo é porque retêm a sua a resistência à corrosão.

O aço não estabilizado que tenha sido soldado pode ter restaurado a resistência à corrosão à temperatura de 1100°C. Este método é limitado por considerações de tamanho e a tendência a deformar-se durante o tratamento térmico.

Um método ainda melhor para evitar a precipitação de carbonetos é reduzir o teor de carbono no aço para um nível tão baixo que a formação de carboneto quase não é possível a qualquer temperatura. Um nível de carbono inferior a 0,03% é eficaz para alcançar este objectivo. Tais aços de baixo teor de carbono não estão sujeitos a precipitação de carbonetos prejudiciais durante a soldadura, e também a exibir propriedades de impacto superiores a baixas temperaturas.



Os eléctrodos para soldadura estão disponíveis com conteúdo extra baixo de carbono (grau L, ou seja, 308L, 316L) ou nióbio para estabilizar o maior depósito de solda de carbono contra o desgaste. O titânio utilizado para estabilizar o material forjado (isto é, AISI 321) não é adequado para a estabilização de metal de soldadura, como muito do que é oxidado durante a transferência do arco, está perdido para a escória e é substituído por nióbio como estabilizante nos eléctrodos.

### Oxidação

Os aços para resistência ao calor devem possuir uma ou ambas das propriedades – resistência à oxidação ou dimensionamento, e retenção de forma correta sob tensão a temperaturas elevadas (ou seja, AISI 310).

A resistência à escamação ou oxidação destes aços é derivada principalmente de cromo, que é cada vez mais eficaz de 8% para cima. O níquel também melhora a resistência à oxidação, mas apenas quando presente em grandes quantidades. É, contudo, mais eficaz na promoção da estabilidade dimensional por tensão a temperaturas elevadas, isto é, confere a resistência à fluência. Outros elementos que contribuem para a resistência à deformação são o titânio, nióbio, molibdénio, tungsténio e cobalto.

### Fragilização fase sigma

Uma característica que ocorre quando alguns aços inoxidáveis são expostos a temperatura de 450-900°C é a formação de fase sigma. Este é um componente quebradiço que se desenvolve a partir da ferrite no "duplex" tipo austenítico de aços inoxidáveis, e resulta em perda de ductilidade e a tenacidade do aço.

### Ataque de enxofre

A sulfatação pode ocorrer em aço níquel de rolamento exposto a altas temperaturas atmosferas que contenham gases sulfurosos.

O níquel é atacado formando níquel sulfetado, causando fissuras no aço. Nestas condições, devem ser utilizados aços de cromo simples.

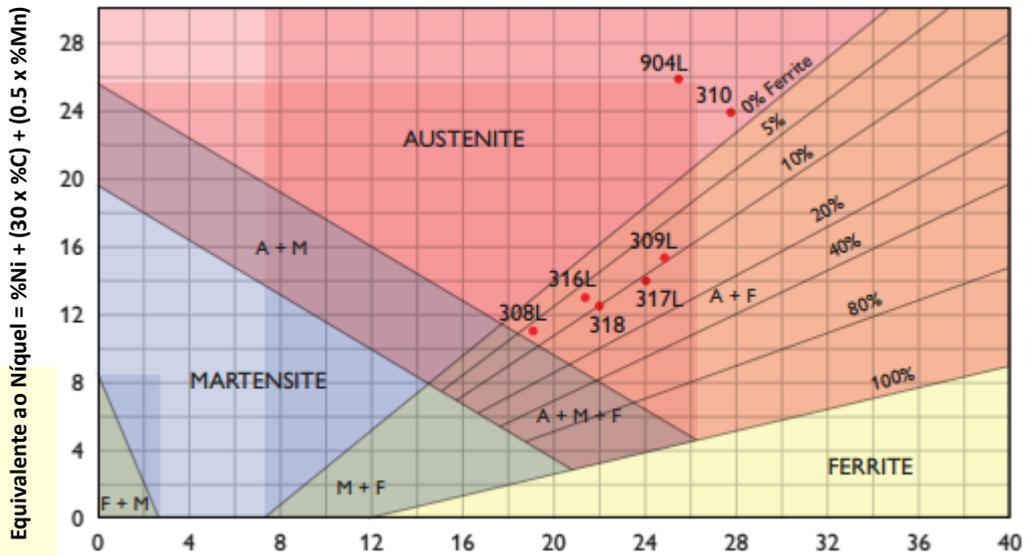
### Diagramas de Schaeffler e Delong

Um método útil para avaliar as características metalúrgicas gerais de qualquer metal soldado de aço inoxidável é por meio dos diagramas de Schaeffler e Delong. Os vários elementos de liga são expressos em termos de equivalentes de cromo ou de níquel (ou seja, elementos que, como o níquel, tendem a formar austenite e elementos como o cromo, que tendem a formar ferrite). Ao traçar os valores totais para o níquel e cromo equivalentes sobre estes diagramas, um ponto pode ser encontrado que indica as principais fases presentes no aço inoxidável em termos de percentagem e número de ferrite respectivamente. Isso fornece algumas informações quanto ao seu comportamento durante a soldadura.

O diagrama de Schaeffler indica constantemente que os aços de baixa liga são endurecidos, uma vez que contêm a fase martensítica em estado soldado. Como o aumento de elementos de liga, as fases austenite e ferrite tornam-se mais estáveis e a liga deixa de ser endurecida. Os aços com um nível relativamente elevado de carbono, níquel e manganês tornam-se inteiramente austeníticos (área 'austenítico'), enquanto aqueles com mais teor de cromo, molibdénio, etc, tendem a ser totalmente ferríticos (área 'ferrítico').

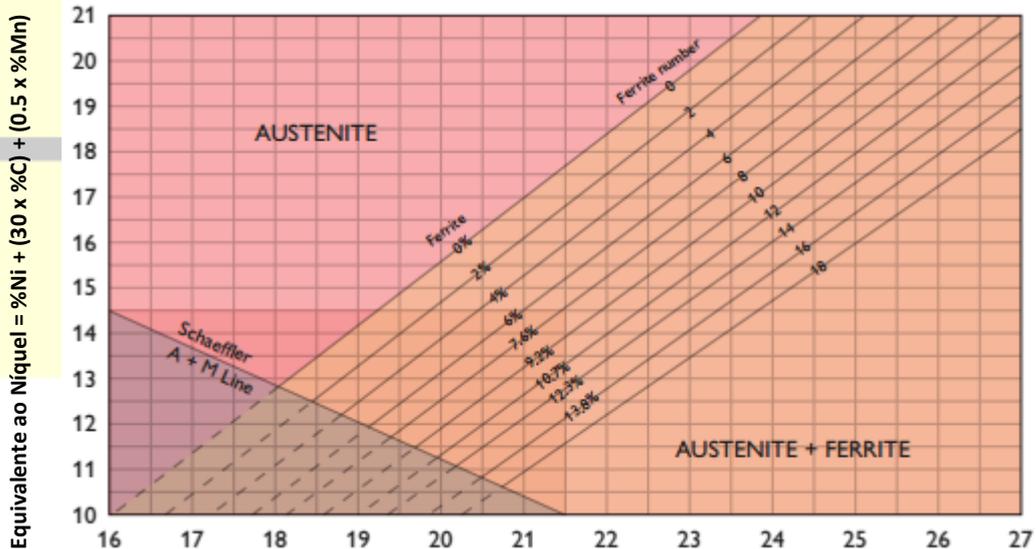
Existe também uma importante região intermédia de composições "duplex" indicadas como A + F no diagrama. Nesta região, as soldas contêm tanto austenite como ferrite. Isto leva à classificação geral do aço inoxidável em austenítico, ferrítico e martensítico, segundo a fase predominante.

### Diagrama de Schaeffler



Equivalente ao Crómio =  $\%Cr + \%Mo + (1.5 \times \%Si) + (0.5 \times \%Nb)$

### Diagrama de Delong



Equivalente ao Crómio =  $\%Cr + \%Mo + (1.5 \times \%Si) + (0.5 \times \%Nb)$



## Tipos de Corrosão (cont.)

O diagrama de Schaeffler também permite prever a composição das soldaduras heterogéneas (materiais diferentes).

Suponha que queremos soldar chapa 410 (13% de crómio; 0,8% de manganês; 0,5% de silício; 0,08% de carbono), ponto B, com um aço carbono (0,2% de carbono; 1,0% de manganês) ponto D, utilizando (23% de crómio; 12 % de níquel; 1,0% de manganês; 0,5% de silício e 0,4% de carbono), ponto A. Supomos que ambas as chapas (410 e aço carbono) têm partes iguais na soldadura e a diluição é de 30%, ponto E é a resultante de ambas as chapas e ponto F, a resultante da aplicação de 30% de diluição para a secção de AE. Por isso, a soldadura resultante terá 4% de ferrite. Esta soldadura também é possível sem o perigo de fissuração a quente.

### Soldadura de aço manganês 11-14%

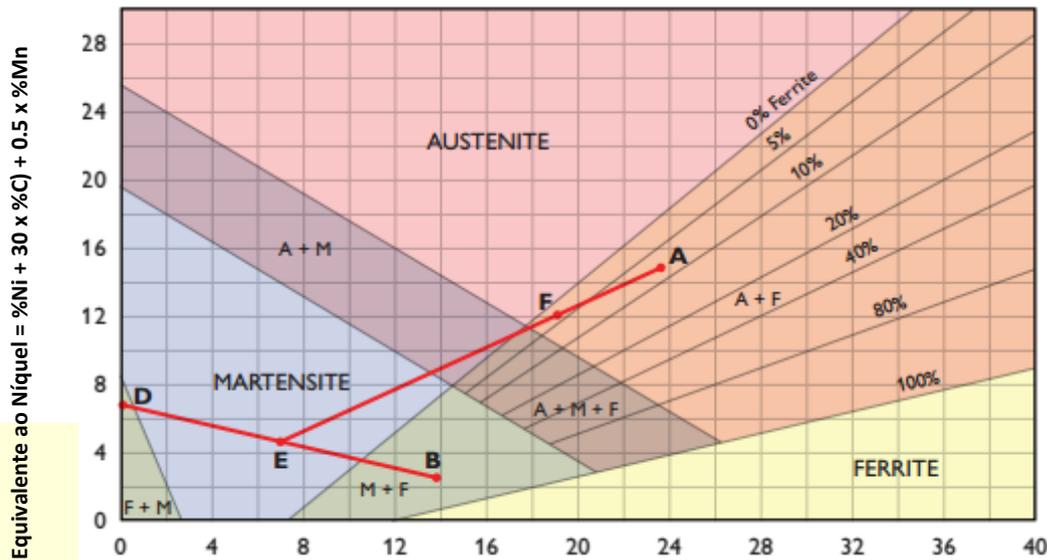
Devido à sua grande ductilidade, resistência e propriedades de trabalho de endurecimento, o aço manganês 11-14% é amplamente utilizado para as peças de desgaste de quebrapedras e máquinas de esmagamento de minérios, copos, baldes, dentes de escavadora, carris e cruzamentos ferroviários e aplicações similares para serviços de alto impacto.

A dureza inerente do aço manganês 11-14% pode ser seriamente reduzida se o material for excessivamente aquecido durante a soldadura; o grau de fragilização que ocorre quando a temperatura e o período de aquecimento é aumentado.

Por esta razão, o controlo sobre a quantidade de reaquecimento tem de ser exercido cuidadosamente durante a soldadura.

### Pontos a ter em conta quando solda aço-manganês:

- Nunca use pré-aquecimento ou alívio de tensões;
- Utilize correntes mínimas consistentes com um arco estável;
- Cordões de solda devem ser de alta acumulação para evitar a diluição da soldadura pelo material de base;
- Antes da soldadura, deve ser tomado cuidado para remover as áreas de trabalho endurecido;
- Minimizar a acumulação de calor no componente de modo que a temperatura está abaixo de 200°C por:
  - a) Sequência de soldadura escalonada
  - b) Arrefecimento directo da zona soldada por um jacto de ar
  - c) Arrefecimento indirecto com água
- Quaisquer superfícies preparadas com corte térmico devem ser moídas antes da soldadura;
- Para soldadura de aço manganês 11-14% é recomendada a utilização do eléctrodo Cronitherme 309 MoL.



Equivalente ao Crómio = %Cr + %Mo + 1.5 x %Si + 0.5 x %Nb

## Tipos de Revestimento

### AWS A5.4-2000

#### Designação do Revestimento – 15

Os eléctrodos são utilizáveis somente com DCEP (eléctrodo positivo).

Embora a utilização de corrente alternada é algumas vezes realizada, eles não têm a intenção de se qualificar para uso com este tipo de corrente.

Eléctrodo dos diâmetros (4,0 mm) e menores podem ser utilizados em todas as posições de soldadura.

#### Designação do Revestimento – 16

O revestimento destes eléctrodos geralmente contém elementos prontamente ionizantes, tais como potássio, a fim de estabilizar o arco de soldadura com corrente alternada. Eléctrodo dos tamanhos 5 / 32in. (4,0 mm) e menores podem ser utilizados em todas as posições de soldadura.

#### Designação do Revestimento – 17

A cobertura destes eléctrodos é uma modificação do revestimento de -16, em que a sílica considerável substitui parte do óxido de titânio do revestimento de -16. Desde revestimentos nos eléctrodos tanto a -16 e -17 é permitida a operação AC, que cobre ambos os tipos classificados como -16 no passado, porque não havia alternativa de classificação até esta revisão do ANSI / AWS A5.4. No entanto, as diferenças operacionais entre os dois tipos tornaram-se significativas o suficiente para justificar uma classificação separada.

Em soldas de enchimento horizontal, os eléctrodos com uma cobertura -17 tendem a produzir mais de um arco de spray mais fino e ondulado na superfície do cordão que aqueles com revestimento -16. A escória de armazenamento lento da cobertura -17 também permite a manipulação de características melhoradas quando se emprega uma técnica de arrasto. A forma do



grânulo em enchimentos horizontais é tipicamente plana e côncava com eléctrodos revestidos -17 em comparação com plano ligeiramente convexo com eléctrodos revestidos -16. Ao realizar soldaduras de ângulo na posição vertical, com progressão para cima, a escória de armazenamento lenta nos eléctrodos revestidos -17 requer uma ligeira técnica de balancear para produzir a forma correcta do grânulo. Por esta razão, o tamanho de enchimento mínimo que pode ser adequadamente feito com um eléctrodo revestido de -17 do que com um eléctrodo revestido -16. Enquanto esses eléctrodos são projectados para operação em todas as posições nos eléctrodos de diâmetro (5 milímetros) ou maiores não são recomendados para a soldadura vertical ou ao tecto.

## Aços Problemáticos

### Introdução

Aços que contêm carbono em excesso de 0,25%, mais de 1,5% de crómio e molibdénio e mais de 1,5% de manganês apresentam uma maior resistência e capacidade de endurecimento e diminuição da soldabilidade.

Os elementos adicionais, tais como o vanádio, o silício, o níquel, o boro, o nióbio e titânio também influenciam a temperabilidade e soldabilidade. Os aços com aumento da capacidade de endurecimento tendem a formar microestruturas frágeis da zona afectada pelo calor, o que pode resultar em fissuras. Os aços que caracterizam uma reduzida soldabilidade são comumente referidos como “aços problemáticos”, como resultado das áreas problemáticas que estão directamente relacionadas com as tensões de contracção, as taxas de arrefecimento rápido e presença de hidrogénio.

Eléctrodos para a soldadura de aços problemáticos são de tipo crómio-níquel austenítico que contêm ferrite delta na faixa de 10-80%. O metal de soldadura é insensível à fissuração a quente acima dos 1200°C. À temperatura ambiente, o metal de solda forte dificilmente consegue suportar o impacto e o choque de carga pesada em serviço.

Os aços problemáticos possuem duas categorias; tipos ferríticos, que exigem pré-aquecimento, e aços austeníticos, tais como aços 11-14% manganês, que exigem entrada mínima de calor.

Quando os tipos de aço ferrítico endurecíveis estão a ser soldados, deve ser feita referência à secção em aços de tração leves e médios para o cálculo do carbono equivalente e temperaturas de pré-aquecimento.

Os eléctrodos de aço problemático são adequados para combinações de aços dissimilares, tais como o crómio e molibdénio. Os aços e aços inoxidáveis e aços de liga leve e baixa liga são resistentes à fissuração. Devem ser tomados cuidados quando são feitas tais combinações de soldadura, para garantir que a diluição excessiva entre a base e o metal de soldadura não ocorra.

### Soldadura de aços dissimilares

Ao soldar aços dissimilares, deve ser tomado em consideração um número de factores. Por exemplo:

- O metal de soldadura deve ser capaz de aceitar diluição de ambos os materiais de base diferentes sem a formação de microestruturas sensíveis à fissuração. Estas estruturas têm de manter-se estáveis às temperaturas operacionais desejadas;
- As propriedades mecânicas do metal de soldadura devem ser superiores aos materiais de base.



- Os coeficientes de expansão devem ser, de preferência, entre aqueles dos materiais de base, a fim de reduzir possíveis concentrações de tensão.
- A resistência à corrosão do metal de soldadura deve ser superior a, pelo menos, um dos materiais de base para evitar o ataque preferencial do metal de soldadura.

Em muitos casos, não é possível satisfazer todos os pontos anteriores, embora deva ser encontrada solução. Os eléctrodos para aços problemáticos Cronitherme 309MoL e SCH 106 foram especialmente concebidos para soldar um grande número de materiais diferentes, tais como aços inoxidáveis a aços de carbono manganês e aços de baixa liga e aços de baixa liga de 11-14% de manganês, aços de alto carbono e aços-ferramenta, etc.

### **Cálculo de acabamentos nas estruturas metálicas soldadas**

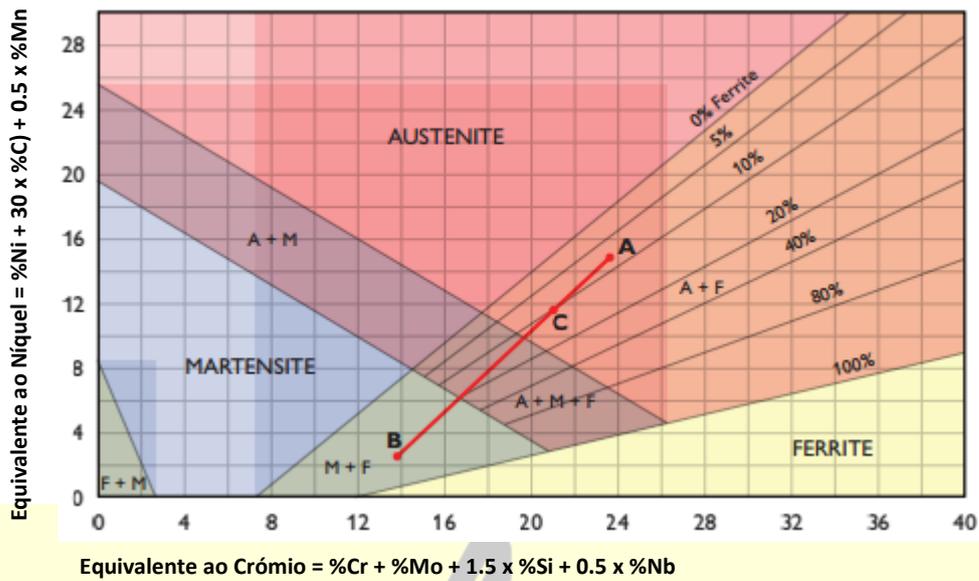
A química do metal de soldadura final, e, por conseguinte, as propriedades, dependem da quantidade de diluição que ocorre durante a soldadura.

A soldadura para diluição do metal apresenta normalmente uma percentagem da composição final do metal soldado, em que o efeito depende de um número de factores tais como a configuração da junção, a técnica de soldadura e o processo de soldadura utilizado. Com o processo de arco manual a diluição nas proximidades pode ocorrer  $\pm 25\%$ . Este será, obviamente, o maior nos passos de raiz e o menor nos passes de enchimento, onde são utilizados dois ou mais passos por camada.

O diagrama de Schaeffler é uma ferramenta útil, na medida em que permite determinar, teoricamente, as microestruturas após a diluição. Isto é ilustrado por meio do exemplo indicado abaixo.

Supondo que queremos soldar aço 410 (13Cr; 0,8mm; 0.5Si e 0.08C) com Cronitherme 309 MoL (23Cr; 12Ni; 1,0mm; 0.5Si e 0.03C), e assumimos 30% diluição (o metal de base contribui com 30% da união do eléctrodo os outros 70%). Qual é a composição do metal de solda resultante?

A chapa 410 é representada pelo ponto B (Cr equivalente 13,75%; Ni equivalente 2,8%) e o eléctrodo Cronitherme 309MoL pelo ponto A (Cr equivalente 23,75%; Ni equivalente 14,5%). Qualquer solda de metal resultante a partir da mistura de A e B será na linha que os une. Como já assumiu 30% de diluição, o ponto C dará a microestrutura resultante (ou seja austenite com 10% de ferrite). Esta soldadura é, portanto, possível, sem qualquer perigo de fissuração a quente.



**Aços Inoxidáveis (BOC Smootharc S)**

Base Metal ASTM, AISI, UNS	201, 202	304, 304L	309, 309S	310, 310S	317, 316	317L, 316L, 316Ti	321, 347	S30815, (253MA), 904L, (N08904)	409, 430, 446, 5CR12	410, 420	Duplex S31500 S31803 S32304	Carbon and Low Alloy Steels
201, 202	347 308L	347 308L	347 309MoL	347 310 309MoL	318 347	308L 316L 347	347	347 309MoL	309MoL 309L	309MoL 309L	Duplex 309MoL	309MoL
304, 304L		347 308L	347 309MoL 308L 309L	347 310 308L	347 318 308L	347 318 308L	347 308L	347 308L	309MoL 309L	309MoL 309L	Duplex 309MoL 309L	309MoL 309L
309, 309S			309MoL 309L	309MoL 309L 310	309MoL 318 316 309L	309L 316L 318	347 309MoL	Match above 309MoL 347	309MoL 309L	309MoL 309L	Duplex 309MoL 309L	309MoL 309L
310, 310S				310	316L 318 310	316L 318 310	347 310	Match above 309L 310	309MoL 309L 316L	309MoL 309L 310	Duplex 309MoL 309L	309L 309MoL 310
317, 316					318 316L	316L 318	347 316L	Match above 309MoL 316L	309MoL 309L	309MoL 309L	Duplex 309MoL 309L	309MoL 309L
317L, 316L, 316Ti						316L	347 316L	Match above 309MoL 309L	309MoL 309L	309MoL 309L	Duplex 309MoL 309L	309MoL 309L
321, 347							347	Match above 309MoL 347	309MoL 309L	309MoL 309L	Duplex 309MoL 347	309MoL 309L
S30815, (253MA), 904L, (N08904)								Matching	309MoL 309L	309MoL 309L	Duplex 309MoL 309L	309MoL 309L
409, 430, 446, 5CR12									309L 309MoL	309MoL 309L	Duplex 309MoL 309L	309MoL 309L
410, 420										Matching or 309MoL 309L	Duplex 309MoL 309L	309MoL 309L
Duplex, S31500, S31803, S32304											Matching	Duplex 309MoL 309L
Carbon and Low Alloy Steels												Matching

**NOTAS:**

- Os consumíveis listados contra o aço podem não alcançar a resistência à corrosão e as propriedades mecânicas correspondentes.
- O processo de soldadura qualificado deve ser realizado antes da soldadura em aplicações críticas.
- Consulte um especialista ou visite o site do BOC para informações mais detalhadas.