

"Para estabilizar a microestrutura austenítica na temperatura ambiente é sempre necessária uma grande quantidade de elementos de liga, conhecidos como gamagenos, o que faz com que necessariamente os **aços austeníticos** sejam de alta liga, utilizados em aplicações especiais de **resistência à corrosão, resistência às temperaturas extremas (ao calor ou ao frio) ou resistência ao desgaste**, cujas propriedades específicas podem ser deterioradas pela soldagem caso não seja utilizado um procedimento adequado. Este artigo procura alertar para os cuidados gerais na soldagem dos aços austeníticos, considerando a aplicação a que se destinam."

Annelise Zeemann

Soldagem dos Aços Austeníticos

1. O que são os aços austeníticos?

São ligas ferrosas que apresentam microestrutura predominantemente austenítica, figura 1, estabilizada pela grande quantidade de elementos de liga gamagenos, que são principalmente o **níquel, o manganês, o nitrogênio** e o carbono, sendo que em ligas resistentes à corrosão e em ligas resistentes às temperaturas extremas o principal papel do carbono não é de estabilizar a austenita, e sim o de garantir a resistência mecânica.



Figura 1 Microestrutura austenítica de um aço inoxidável. Microscopia ótica. Ataque eletrolítico com ácido oxálico.

2. Qual a composição típica de um aço austenítico?

Depende do tipo de aplicação a que se destina. Os principais aços austeníticos podem ser enquadrados como:

1) Aços resistentes à corrosão (ou inoxidáveis austeníticos); basicamente ligas Fe-Cr-Ni da série 300, onde o cromo é utilizado em teores mínimos de 16% para garantir a resistência à corrosão (através da formação de uma película de óxido passiva); o níquel é utilizado em teores mínimos de 6% para estabilizar a estrutura austenítica, e o carbono varia para os graus standard (usualmente com carbono até 0,08%) e L

(baixo carbono, usualmente até 0,03%). O grau H (alto carbono) nunca é usado em meios aquosos, onde a resistência à corrosão deve ser superior, pois a presença do carbono reduz a resistência à corrosão;

2) Aços resistentes ao calor, que normalmente também são aços inoxidáveis porém com maiores teores de carbono, para garantir maior resistência à fluência; e maiores teores de cromo, níquel e silício, para garantir a resistência à oxidação. Existem os da série 300 (como o 310, por exemplo que é bem específico para trabalho a quente), os da série 300 em grau H (alto carbono, normalmente até 0,1%), e existem os fundidos de estrutura austenítica com carbonetos, tipo HK e HP;

3) Aços criogênicos, que também são inoxidáveis da série 300, normalmente de baixo carbono e com maiores teores de elementos austenizantes para garantir a estabilidade da estrutura austenítica mesmo em temperaturas muito baixas;

4) Aços resistentes ao desgaste metal x metal, basicamente ligas Fe-Mn, com Cr e C, estabilizadas pelo manganês (cujos teores se situam na ordem de 13%) e com alto teor de carbono (na ordem de 1%). Este tipo de material também é conhecido como aço Hadfield e é muito utilizado em componentes fundidos para aplicações severas de desgaste metal-metal, como por exemplo na indústria ferroviária.

Cabe ressaltar que os aços austeníticos foram enquadrados segundo sua aplicação, mas que dentro de cada aplicação existem diversos outros tipos de aço que não são austeníticos, por exemplo os aços austeníticos da série 300 com alto carbono são utilizados para resistir ao calor, mas existem diversos tipos de aços ferríticos e martensíticos (ligados ao Cr-Mo) que também são resistentes ao calor.

3. Quais as características de propriedades mecânicas destes aços?

Dependendo das aplicações a que se destinam, os aços austeníticos podem apresentar as mais variadas composições químicas e algumas ligas não são totalmente austeníticas, de forma que suas propriedades variam muito; mas algumas características inerentes à estrutura austenítica (CFC), e muito importantes quando se pretende soldar um material, são:

- que a estrutura austenítica não se fragiliza, ou seja, qualquer que seja a temperatura de serviço ou a taxa de carregamento ou o estado de tensões, o aço austenítico sempre apresenta comportamento dúctil; e
- que a estrutura austenítica apresenta elevada taxa de encruamento, ou seja que o material começa a escoar com baixa tensão (normalmente a tensão limite de escoamento é baixa e a razão LE/LR pode ser inferior a 0,4) e a medida que vai sofrendo deformação plástica o material vai endurecendo rapidamente até chegar à tensão limite de resistência, figura 2.

4. Como estas características mecânicas afetam a soldabilidade?

Como este material não se fragiliza e apresenta baixa tensão limite de escoamento, o nível de tensões residuais de soldagem costuma ser baixo e o risco de trincamento é muito menor do que em materiais que se endurecem e fragilizam. Além disso durante posterior serviço (com tensões externas atuantes) o material como soldado vai se deformando e aliviando a tensão interna, de forma que na maioria das aplica-

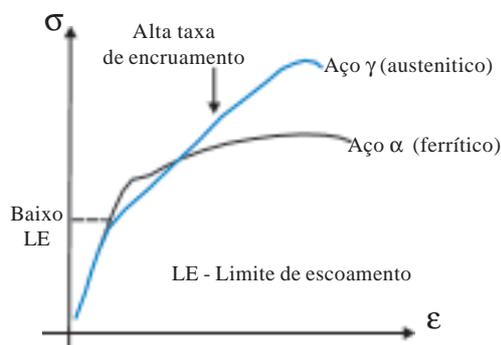


Figura 2 Esquema que ilustra uma curva de tração para um aço inoxidável austenítico, evidenciando a elevada taxa de encruamento.

ções os aços austeníticos não necessitam de tratamento térmico de alívio de tensões. Existem entretanto exceções, e esta afirmativa não deve ser considerada uma recomendação pois cada caso é um caso diferente e deve ser avaliado. Somente deve ser lembrado que como estes aços são de "alta liga", seu alívio somente ocorre em temperaturas muito elevadas e normalmente, quando é necessário realizar o alívio, utiliza-se a temperatura de solubilização do material.

5. Isto quer dizer que este tipo de aço não trinca durante a soldagem?

Não, na verdade os aços austeníticos, quando soldados com material similar (consumível austenítico) são **muito susceptíveis ao trincamento a quente**, que ocorre devido à baixa solubilidade das impurezas na estrutura austenítica. Estas impurezas permanecem em contornos de grão e apresentam ponto de fusão mais baixo, criando um filme líquido que se abre facilmente. Existem dois tipos de trincas a quente de ocorrência frequente em aços austeníticos, as **trincas de solidificação** (no metal de solda) e as **trincas de liquação** (na zona de ligação), cuja morfologia intergranular (ou interdendrítica) está ilustrada na figura 3. Materiais de granulometria grosseira (por exemplo os fundidos) são aqueles cuja susceptibilidade é maior, pois a área onde as impurezas se concentram é menor e conseqüentemente o acúmulo é maior. Para minimizar as trincas a quente costuma-se soldar com um consumível que não seja totalmente austenítico, e sim austeno-ferrítico, onde a estrutura bifásica diminui a concentração de impurezas e diminui o risco de trincamento, figura 4.

Em geral os aços austeníticos **não são susceptíveis ao trincamento a frio** pois dissolvem o hidrogênio e não endurecem no resfriamento.

6. Além das trincas a quente, que tipo de problema os aços austeníticos podem sofrer durante a soldagem?

Como são aços utilizados em aplicações especiais, um dos principais problemas, **normalmente não detectável durante a soldagem**, está relacionado à perda da propriedade específica de resistência à corrosão, ao calor ou ao desgaste.

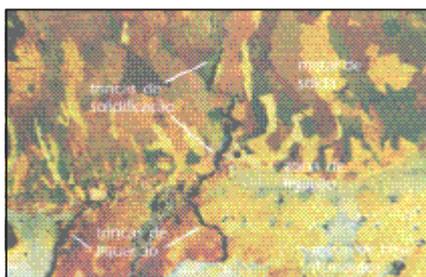


Figura 3 Trincas de solidificação no metal de base de um aço inoxidável austenítico (A) e de liquação na zona de ligação de um aço Hadfield (B). Grande

7. Como pode ocorrer a perda da resistência à corrosão?

Como a resistência à corrosão do inox está relacionada à formação de uma película de óxido protetor, garantida por um teor mínimo de cromo, caso haja qualquer transformação que reduza o teor de cromo em solução sólida para uma dada região do material, esta região passa a não formar o óxido protetor e ser susceptível à corrosão. Isto pode acontecer sempre que algum elemento combinar com o cromo, normalmente o carbono formando carbonetos, e por vezes o nitrogênio formando nitretos.

A faixa de temperaturas de **formação dos carbonetos de cromo**, conhecida como **sensitização**, é entre 400°C e 800°C; e durante a soldagem a região que passa maior tempo dentro desta faixa está situada um pouco afastada da solda, Quadro 1. Quando o resfriamento da junta soldada é lento, existe a possibilidade de formação dos carbonetos, que precipitam em contornos de grão e roubam o cromo do aço, fazendo com que as regiões adjacentes fiquem empobrecidas e, quando colocadas em meio aquosos, sofram um processo corrosivo conhecido como **corrosão intergranular**. Para evitar este tipo de problema deve-se soldar os aços inoxidáveis austeníticos com processos de baixo aporte de calor, sem pré-aquecimento e com técnicas de manutenção a frio (banho-maria).

Outro tipo de problema associado à perda de resistência à corrosão ocorre em equipamentos cujo meio de operação é muito agressivo, e a soldagem é realizada com um consumível anódico em relação ao metal de base. Neste caso a solda passa a sofrer um processo corrosivo preferencial.

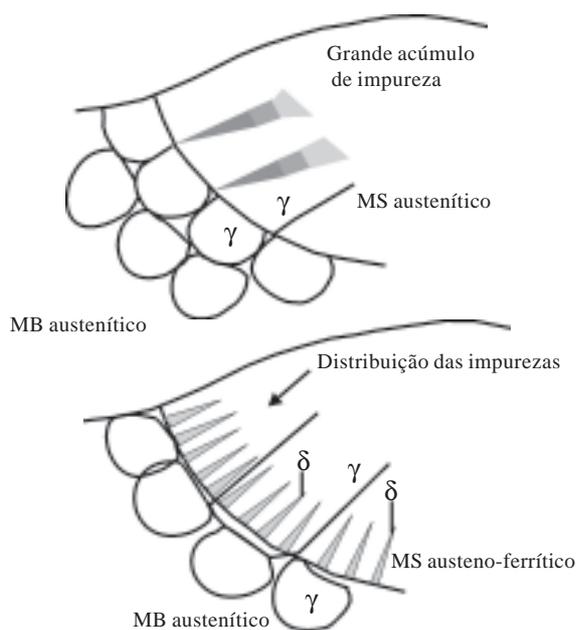


Figura 4 Esquema que ilustra como a estrutura austeno-férrica diminui a susceptibilidade ao trincamento a quente em um aço austenítico.

8. Como pode ocorrer a perda da resistência ao desgaste?

Os aços austeníticos tipo Hadfield apresentam sua boa resistência ao desgaste devido ao encruamento e forte endurecimento da austenita, quando submetida ao desgaste; o que significa que o material normalmente é colocado para trabalhar no estado "macio", e quando sofre o trabalho (em desgaste), sua superfície encrua e endurece, tornando-se cada vez mais resistente. O principal problema neste tipo de material também é a formação de precipitados, que podem desestabilizar a austenita e favorecer a formação de martensita, com conseqüente fragilização localizada e arrancamentos durante serviço em desgaste. Da mesma forma deve-se evitar resfriamentos lentos para este tipo de material.

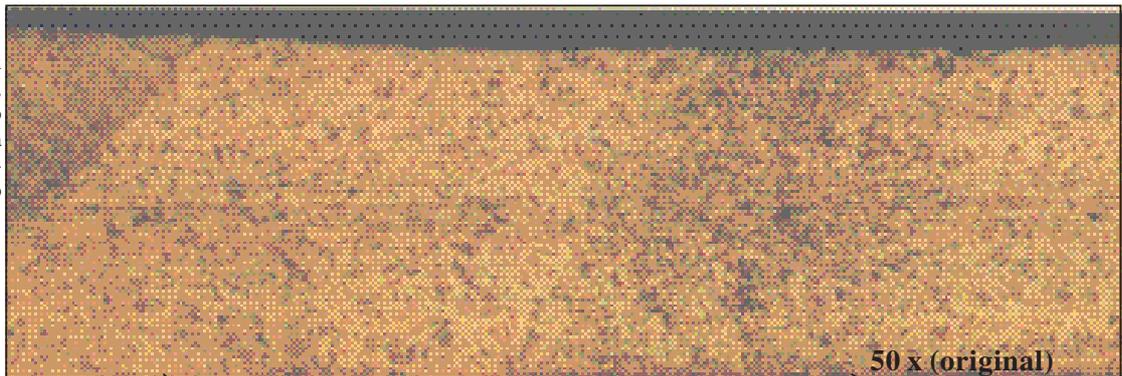
9. E quanto aos aços resistentes ao calor ?

Normalmente estes materiais trabalham em meios menos corrosivos (gasosos e não aquosos) e o teor de carbono do aço costuma ser elevado para garantir a resistência à fluência. Sem dúvida, se o teor de carbono do aço é elevado, e ele ainda trabalha a quente, é praticamente impossível evitar a formação de

Quadro 1

Junta soldada de aço inox austenítico tipo AISI 304, evidenciando a região sensitizada, afastada da solda, onde o material perde a resistência à corrosão e passa a sofrer corrosão.

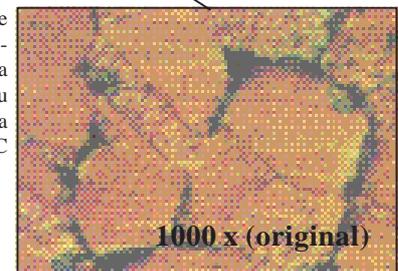
INTERGRANULAR



Ausência de precipitação próximo da solda



Precipitação de carbonetos em contornos de grão, na posição que passou mais tempo na faixa entre 400°C e 800°C



carbonetos, mas isso não significa que o material sofrerá corrosão intergranular, pois estes materiais tem também alto cromo e mesmo sofrendo a precipitação ainda sobra muito cromo em solução para garantir sua passividade. Mas, mesmo assim, as técnicas de baixo aporte de calor também devem ser empregadas para garantir menores alterações.

Um dos principais problemas da soldagem destas ligas ocorre quando se pretende soldar em manutenção um material que já sofreu o trabalho a quente, pois como o material é muito "ligado" (principalmente com alto carbono e alto cromo) existe a possibilidade da microestrutura evoluir em serviço, endurecendo por precipitação secundária de carbonetos ou formando fases intermetálicas, do tipo sigma. Neste caso a ductilidade do material abaixa assustadoramente e caso não haja um tratamento de solubilização efetivo anterior à soldagem (que é de difícil realização em campo) o trincamento na soldagem é quase inevitável.

10. Existe algum procedimento de soldagem padrão para aços austeníticos?

Não, pois cada material é diferente do outro. Mas existem alguns cuidados que são comuns a todos os aços austeníticos, que são:

- *selecionar consumíveis compatíveis com a aplicação e que ao mesmo tempo tenham menor risco de*

trincamento a quente; por exemplo na soldagem de um inoxidável austenítico utilizar um consumível austeno-ferrítico, que contenha o mínimo de ferrita delta possível para não trincar e o máximo permitido para não corroer;

- *evitar a soldagem com forte restrição para minimizar o risco de trincamento a quente;*
- *evitar a soldagem com processos/procedimentos de aporte de calor muito elevado, pois as juntas soldadas podem sofrer alterações (principalmente precipitações) que comprometem sua futura performance em serviço;*
- *se o material for novo e sua estrutura for austenítica deve-se evitar resfriamento lento para não ocorrer diferentes tipos de precipitação;*
- *evitar soldar um material que já sofreu serviço a quente (em manutenção) sem antes avaliar os tipos de fases presentes, pois caso o material se apresente com fases intermetálicas ele pode estar com baixa ductilidade e trincar durante a soldagem. Neste caso um tratamento térmico de solubilização anterior pode ser necessário.*

Referência básica para a consulta dos leitores:

ASM Handbook Volume 6 "Welding, Brazing and Soldering"