

"A *soldagem dos aços martensíticos* é sempre temida pelo pessoal da Indústria, que imagina que a microestrutura martensítica necessariamente conduzirá à formação de trincas durante e após a soldagem. Sem dúvida os aços martensíticos exigem alguns cuidados especiais, não somente na soldagem mas durante todo o seu processamento, pois são sempre aços "ligados". No entanto, quando se realiza um procedimento de soldagem adequado à combinação entre o tipo de material e as dimensões do componente, com todos os cuidados relativos ao controle da umidade ambiente e dos consumíveis, torna-se fácil obter uma junta soldada íntegra e com ótimas propriedades mecânicas."

Annelise Zeemann

Soldagem dos Aços Martensíticos

1. O que são os aços martensíticos?

São ligas ferrosas que apresentam microestrutura predominantemente martensítica, sempre com características de **alto limite elástico**, e quase sempre com **alta dureza**. É fundamental esclarecer que a microestrutura em qualquer aço martensítico de aplicação estrutural ou mecânica não é simplesmente a martensita, e sim a martensita revenida (figura 1) formada no tratamento de **têmpera e revenimento**.

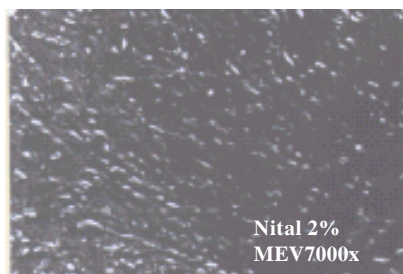
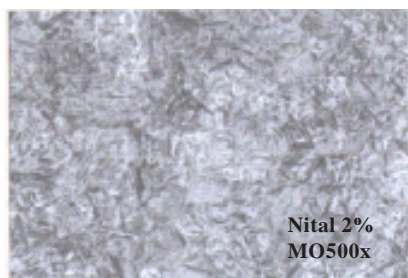


Figura 1 Estrutura martensítica revenida observada em microscopia óptica e em microscopia eletrônica de varredura. Pode-se verificar as agulhas da martensita formada na têmpera e centenas de "pontinhos", que são os carbonetos precipitados no revenimento.

2. Como é o tratamento de têmpera e revenimento, e o que ocorre a nível microestrutural?

A **têmpera** é o tratamento térmico que consiste no resfriamento do aço, a partir de uma temperatura onde a microestrutura é austenítica (CFC); de forma rápida o suficiente para que não haja tempo de ocorrer a transformação difusional - austenita em ferrita (CCC) e cementita. Quando a estrutura austenítica (instável) chega em temperatura muito baixa ocorre um cisalhamento dos planos cristalinos e uma estrutura tetragonal com elevado nível de tensões internas é formada. É a martensita **cujos valores de dureza dependem diretamente do teor de carbono que se apresentava dissolvido na austenita antes da transformação**. Isto porque o carbono é um átomo intersticial que permanece "aprisionado" no meio da rede cristalina, aumentando o tensionamento da rede quanto mais átomos estiverem presentes.

O **revenimento** é um tratamento térmico que consiste no aquecimento da estrutura martensítica em temperaturas elevadas o suficiente para que os átomos de carbono possam sair da rede cristalina (precipitar) e diminuir o tensionamento interno (aliviar o material). Quanto mais alta a temperatura de revenimento mais baixa será a dureza do aço após o tratamento pois mais carbono terá precipitado a partir da martensita. Em temperaturas muito elevadas (próximas às de austenitização) o carbono pode até sair todo da rede e a estrutura passa a ser ferrítica, muito macia.

3. Todos os aços martensíticos são temperados e revenidos ?

Nem todos os aços martensíticos apresentam os tratamentos térmicos formalmente conhecidos como "beneficiamento", que são a têmpera e o revenimento. Alguns aços já saem da siderúrgica na forma tratada e podem até sofrer ciclos que não são conhecidos como de têmpera e revenimento, mas que cumprem o mesmo papel.

4. O que significa um material com alto limite elástico?

Devido à transformação martensítica, este tipo de aço escoar em tensões elevadas, geralmente com uma relação LE/LR (tensão limite de escoamento / tensão limite de resistência) superior a 0,9, como se pode visualizar na curva de tensão x deformação de um ensaio de tração (figura 2). Isso significa que antes de escoar o material atinge tensões muito altas (ainda no regime elástico), ao contrário dos aços ferríticos, que facilmente chegam ao regime plástico (deformam) e cuja relação LE/LR usual é da ordem de 0,6.

5. Esta propriedade (elevada relação LE/LR) pode atrapalhar durante a soldagem ?

Claro, pois o nível de tensões residuais de soldagem é da ordem do limite de escoamento do material. Ora, se o limite de escoamento é muito próximo do limite de resistência, isso significa que qualquer tensionamento externo (aplicado), rapidamente eleva o nível de tensões atuante acima do limite de resistência e o material trinca. Por isso qualquer aço martensítico deve sofrer alívio de tensões após a soldagem, e antes do alívio todo o cuidado é pouco na manipulação do componente soldado, pois a ocorrência de pancadas ou a realização de usinagem podem induzir tensões que causam o trincamento.

6. Porque nem sempre os aços martensíticos apresentam elevada dureza?

Porque existe um sem número de aços martensíticos, com as composições mais variadas; de baixo, médio ou alto carbono; microligados, baixa liga ou alta liga, cujas características metalúrgicas e propriedades também são totalmente diferentes.

Para ilustração, a tabela 1 apresenta a composição, propriedades e aplicações de alguns tipos diferentes de aços martensíticos, onde se verifica que:

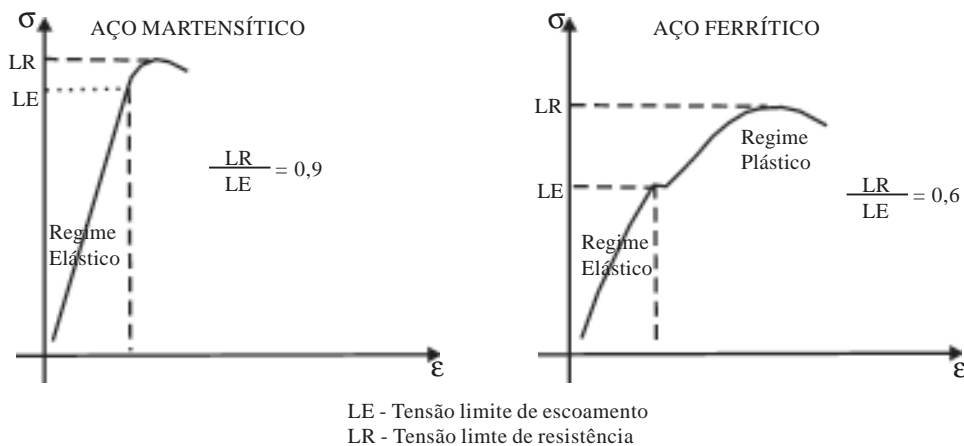


Figura 2 Curvas tensão x deformação esquemáticas para aços martensíticos e ferríticos, evidenciando as relações LE/LR para os diferentes materiais.

- existem **aços martensíticos estruturais**, de baixo carbono, microligados ou baixa liga (tipo HY 80 ou HY 100), de dureza "baixa" e cuja soldabilidade é excelente;
- existem **aços martensíticos resistentes ao calor**, do tipo Cr-Mo, de baixo carbono, e cuja soldabilidade é boa;
- existem **aços martensíticos ultra-resistentes**, usualmente de médio carbono (tipo AISI 4130, 4140, 4340), com dureza que pode variar muito em função da temperatura de revenimento, e cuja soldabilidade não é tão boa;
- existem **aços martensíticos resistentes à corrosão**, da série 400, de baixo, médio ou alto carbono (dependendo da aplicação), cuja soldagem exige cuidados especiais;
- existem **aços martensíticos resistentes ao desgaste**, do tipo ferramenta (série A, O, e H, entre outras), de médio a alto carbono, e cuja soldagem é sempre muito trabalhosa.

Existem ainda aços martensíticos endurecíveis por precipitação (tipo maraging ou 17-4PH), que não estão abordados neste artigo.

7. Parece que o teor de carbono influencia na soldabilidade, é verdade?

Sim, tanto o carbono como os elementos de liga influenciam na soldabilidade, sendo entretanto que o teor de carbono é determinante, pois é o responsável pelo nível de endurecimento. A figura 3 apresenta um gráfico (baseado no ASM Handbook Volume 6) que ilustra como a soldabilidade varia em função do teor de carbono e dos elementos de liga.

8. Existe algum procedimento de soldagem padrão para aços martensíticos?

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

- evitar soldar um material que já sofreu serviço (em manutenção) sem antes aliviar as tensões, pois o material acumula tensões internas e pode trincar durante a soldagem;

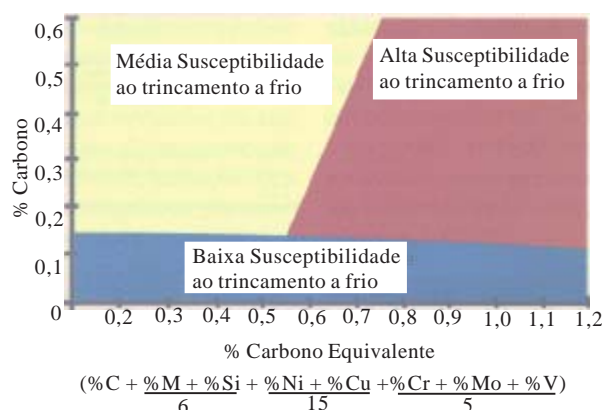


Figura 3 Esquema baseado em figura do ASM Handbook Volume 6, que ilustra a soldabilidade dos aços em função do teor de carbono e de elementos de liga.

- não soldar estes materiais com chuva ou com consumíveis úmidos, pois um dos problemas dos martensíticos é a trinca a frio, causada pela entrada de hidrogênio proveniente da dissociação da água no arco elétrico;
- evitar a soldagem com processos/procedimentos de aporte de calor muito elevado, pois as juntas soldadas podem sofrer uma perda de resistência mecânica (amaciamento) devido ao calor excessivo, além de permitir crescimento de grão na zona termicamente afetada, o que favorece perda da resistência ao impacto;
- determinar a temperatura de pré-aquecimento em função do tipo de aço, sempre lembrando que neste caso não se deseja evitar a formação martensítica no resfriamento (o que é impossível pois o aço é martensítico), e sim evitar que a transformação ocorra com alto tensionamento de contração da peça, o que levaria a trincas. Cabe lembrar que temperaturas muito elevadas de pré-aquecimento podem até mesmo ser deletérias para estes aços, favorecendo o amaciamento de aços revenidos em baixa temperatura, o crescimento de grão excessivo (fragilização) ou a retenção de austenita no pós-aquecimento;
- caso o alívio não seja realizado logo após a soldagem, deve-se pós-aquecer o componente em temperaturas na ordem de 50°C a 100°C acima da temperatura de pré-aquecimento, durante algumas horas, com a finalidade de evoluir o hidrogênio introduzido na soldagem;

- sempre aliviar as tensões do material em temperaturas inferiores à de revenimento do aço, para evitar perda de resistência mecânica no resto do material. No caso dos aços inoxidáveis martensíticos deve-se garantir resfriamento rápido após o alívio para evitar a fragilização a 475°C.

Dica para a Soldagem Dissimilar entre um Aço Martensítico e outro Aço qualquer.

O Prof. Erich Lessmann deu uma boa idéia para a soldagem entre um aço martensítico e outro aço qualquer, quando este outro aço não pode, ou não deve, sofrer alívio de tensões, por exemplo quando se pretende soldar um **aço martensítico ultra-resistente** (tipo AISI 4340) a um **inoxidável austenítico** (tipo AISI 316).

O alívio de tensões usual para um AISI 4340 se situa na faixa dos 600°C, onde ocorre a máxima sensitização dos aços inoxidáveis da série 300, de forma que, se o componente não pode perder a re-

sistência à corrosão, deve-se evitar soldá-lo com pré-aquecimento e evitar o alívio. Como fazer ?

1) soldar o chanfro do AISI 4340 com um consumível tipo AWS 309 (austenítico), com o pré-aquecimento recomendado para o AISI 4340, formando uma almofada, em uma camada de espessura superior a 4 mm;

2) realizar o alívio deste conjunto na faixa recomendada para o AISI 4340;

3) soldar a frio este conjunto no AISI 316, sem que o arco encoste no aço baixa liga.

Referência Básica para a Consulta dos Leitores

ASM Handbook Volume 6 "Welding, Brazing and Soldering".

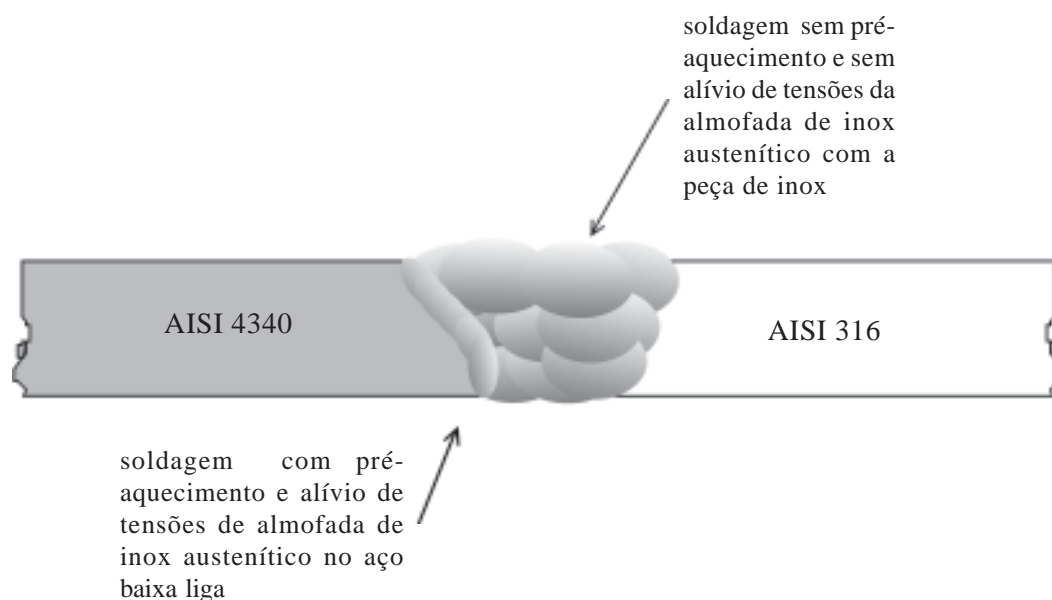


Figura 4 Esquema que ilustra como realizar a soldagem dissimilar entre um aço inox austenítico e um aço ultra-resistente, dando alívio no AISI 4340 e sem dar o alívio no AISI 316.

Tabela 1 Composição aproximada e propriedades representativas de alguns aços martensíticos.

aço	composição nominal (% em peso)					propriedades	tipo de material
	C	Cr	Ni	Mo	outros		
ASTM A517 grau F	0,15	0,5	0,8	0,5		LE > 100ksi	estruturais
HY 80	0,15	1,5	3,0	0,5	Cu, V	LE > 80ksi	
HY 100	0,15	1,5	3,0	0,5	Cu, V	LE > 100ksi	
ASTM A213 grau T11	0,15	1,0	-	0,5	-	-	aços resistentes ao calor
ASTM A213 grau T22	0,15	3,0	-	1,0	-		
AISI 4130	0,30	1,0	-	0,2	-	LE de até 130ksi	aços ultra-resistentes
AISI4340	0,40	1,0	1,5	0,25	-		
AISI 410	0,15	12,0	-	-	-	LE > 80ksi	aços inoxidáveis
AISI 440	1,0	17,0	-	0,75	-		
SAE H11	0,4	5,0	-	1,5	V	dureza de 50 HRc	aços ferramenta
SAE A6	0,7	1,0	-	1,0	Mn	dureza de 55 HRc	
SAE O2	0,9	0,5	-	-	Mn	dureza de 60 HRc	

