

MÓDULOS DE TREINAMENTO

CONHECENDO OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Coordenação:

ABINOX

Por:

Eng. Ronaldo Claret Ribeiro da Silva

3.2

**TRATAMENTO TÉRMICO DOS
AÇOS INOXIDÁVEIS
MÁRTENSÍTICOS**

MÓDULOS DE TREINAMENTO

CONHECENDO OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Professor:

Ronaldo Claret Ribeiro da Silva

Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Metalúrgica pela UFMG.

Experiência Profissional: 40 anos na Aperam South America nas áreas de Produção, Metalurgia e Pesquisa, tendo ocupado as posições de Pesquisador (processos a quente e a frio dos aços Inox), Gerente Executivo de Metalurgia do Inox, Gerente Executivo do Centro de Pesquisa. Larga experiência internacional. Autor e coautor de inúmeros artigos técnicos e de várias patentes de produtos e processos.

Organizado por:

ABINOX

INTRODUÇÃO

Na sequência do módulo anterior, será abordado neste módulo o tratamento térmico dos aços inox martensíticos.

Tratamento Térmico dos Aços Inoxidáveis Martensíticos

Os tipos martensíticos podem ser endurecidos por têmpera em temperaturas acima do ponto crítico que variam de 926 a 1066 °C. A eliminação de tensões e a melhoria no equilíbrio das propriedades mecânicas são então alcançadas por meio do alívio de tensões ou revenido. A natureza de sua resposta ao tratamento térmico é basicamente a mesma dos aços carbonos e dos aços baixa liga. No estado endurecido, a estrutura metalúrgica desses aços inoxidáveis é martensítica. Este termo é usado para descrever esta classe de aços inoxidáveis.

A Tabela 3 ilustra até que ponto cada um dos aços inoxidáveis martensíticos responde ao tratamento térmico. Ela também indica as faixas de dureza que podem ser esperadas nas condições revenidas ou com alívio de tensões. Na figura 3 é apresentado de forma esquemática os tratamentos de têmpera, alívio de tensões e revenido, e na figura 4 são apresentados exemplo de micrografias dos aços martensíticos em diferentes condições.

Aço	Recozido		Temperado		Alívio de Tensões		Revenido	
440	96	24	60	61	54	60	31	41
420	86	93	53	56	48	53	23	36
410	75	83	40	44	38	40	25	35

Tabela 3 - Faixa de dureza para alguns tipos de aço inoxidável martensítico.

O tempo na temperatura de recozimento só precisa ser suficiente para aquecer o material uniformemente e pode variar de 2 a 3 minutos para chapas e tiras a 1 hora ou mais para seções pesadas. A regra geral é de 3 minutos para cada 2,5 mm de espessura.

Para evitar o perigo de empeno, as seções finas devem ser resfriadas ao ar; seções mais pesadas podem ser resfriadas em óleo ou água. Como regra geral, o resfriamento rápido de temperaturas de recozimento resulta em propriedades de impacto aprimoradas. Os tipos ferríticos nunca devem ser mantidos na faixa de 400 a 565 oC durante o resfriamento. Qualquer tempo apreciável nessa faixa pode produzir fragilidade.

Se o aço 430 for exposto a temperaturas de aproximadamente 980 °C em operações de fabricação, como forjamento ou soldagem, ele deve ser recozido. Isso é necessário para restaurar a resistência à corrosão e a ductilidade. No entanto, esse recozimento não reduzirá o tamanho do grão.

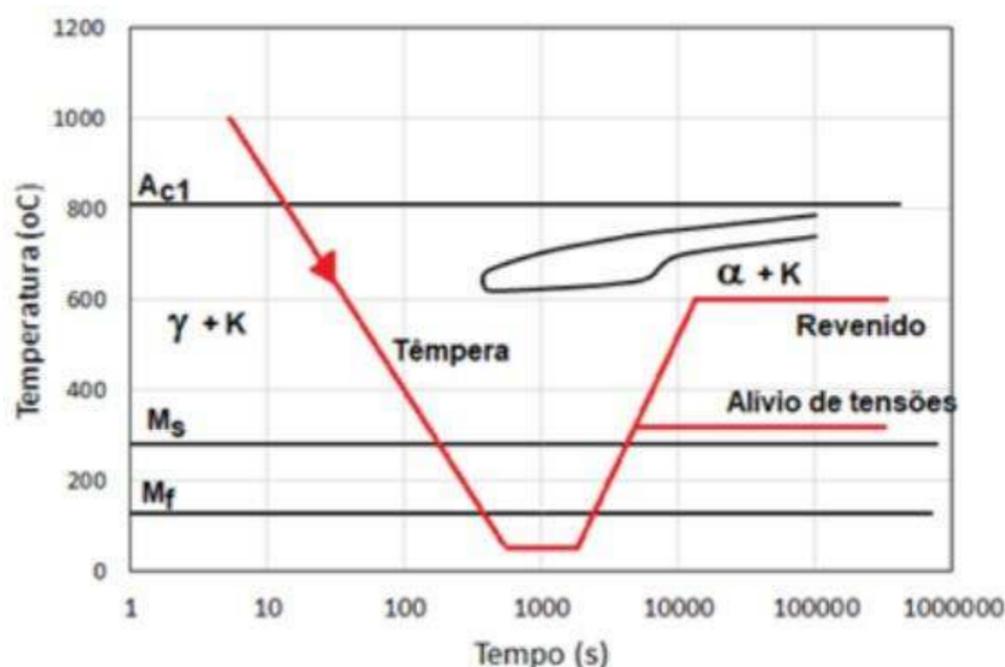


Figura 3. Tratamentos térmicos típicos para um aço 420

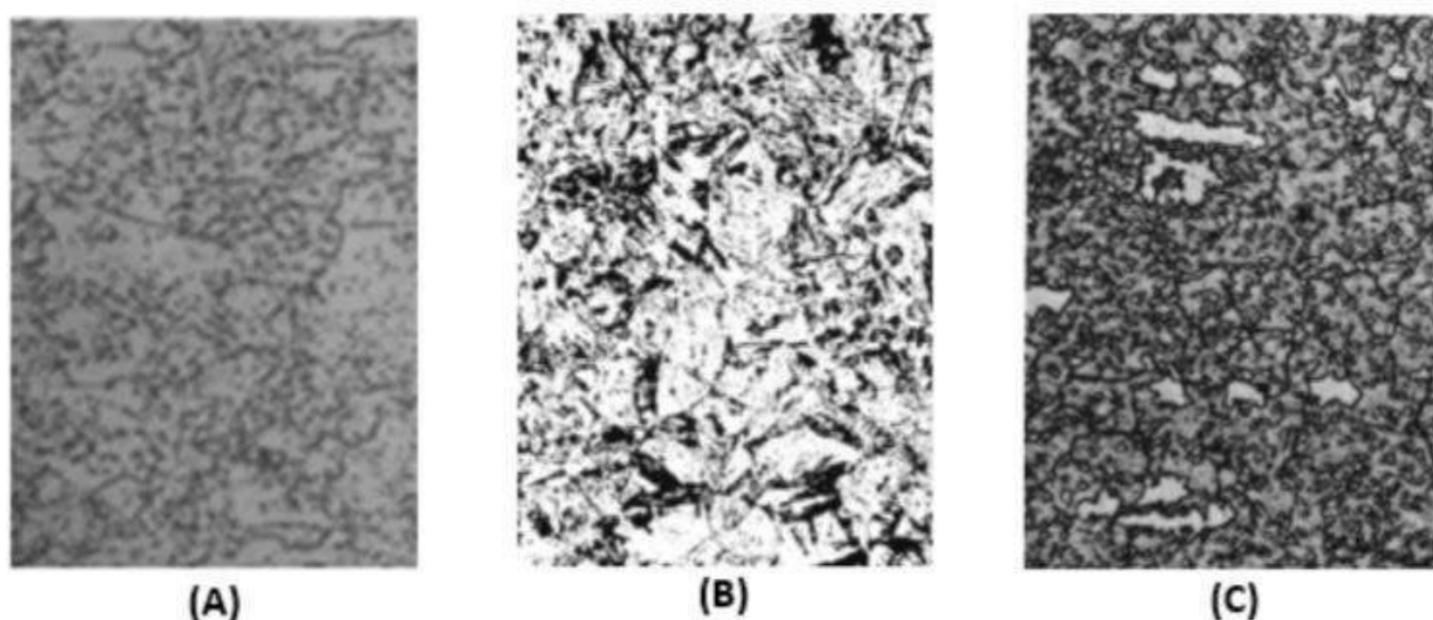


Figura 4: (A) Aço 420 recozido (ferrita e carbonetos), (B) Aço 410 temperado (Martensita), (C) Aço 440 temperado (Martensita e carbonetos primários).

Os aços inoxidáveis martensíticos nunca devem ser usados na condição temperada. A melhor combinação de propriedades mecânicas não está totalmente desenvolvida até que as peças sejam revenidas, ou submetidas ao alívio de tensões.

Normalmente, o alívio de tensões é usado quando se deseja máxima resistência e dureza. As baixas temperaturas usadas, 232 a 427 °C, melhoram a tenacidade e a ductilidade e diminuem a dureza do material apenas ligeiramente.

Se a ductilidade e a tenacidade máximas forem desejadas, os aços inoxidáveis martensíticos devem ser revenidos entre 593 e 760 °C, dependendo do equilíbrio das propriedades necessárias.

O revenido e o alívio de tensões influenciam na resistência à corrosão. Isso deve ser levado em consideração na seleção dos procedimentos de tratamento térmico.

Os aços baixo carbono, como o 410, possuem melhor resistência à corrosão quando o alívio de tensão é realizado entre 204 a 371 °C ou revenido na faixa de 593 a 760 °C. Temperaturas de 427 a 566 °C não são recomendadas porque o revenido dentro desses limites resulta em severa perda de resistência à corrosão e redução da tenacidade ao impacto.

A perda de resistência à corrosão é severa quando os aços inoxidáveis martensíticos com alto carbono, como o 420 e o 440, são revenidos a qualquer temperatura acima de 454 °C. Conseqüentemente, esses aços são usados apenas na condição temperada e com alívio de tensões.

Têmpera

A têmpera é realizada por aquecimento acima da temperatura crítica ou de transformação inferior e, em seguida, resfriamento rápido em óleo ou ar. Porém, a dureza máxima não é atingida até que a temperatura de têmpera seja elevada várias centenas de graus acima deste ponto.

Peças resfriadas em temperaturas intermediárias de 802 a 927 °C desenvolverão dureza que varia de material recozido até quase totalmente endurecido. Também resulta em uma estrutura metalúrgica heterogênea que não é tão resistente quanto a do material totalmente endurecido. A prática usual é endurecer a partir de uma temperatura que produz dureza máxima. As faixas de endurecimento normais e a dureza resultante “como têmpera” estão listadas na tabela 3.

A variedade de ligas martensíticas disponíveis oferece uma ampla gama de propriedades mecânicas. Estas são determinados principalmente pelos teores de carbono e cromo das ligas, também ilustrado na tabela 3.

O termo “temperabilidade”, no sentido de que se refere à profundidade de endurecimento e variação na dureza, tem relativamente pouco significado com os aços inoxidáveis. Isso ocorre porque todos os aços inoxidáveis endurecíveis endurecem uniformemente, mesmo em seções grandes. A dureza “como têmpera” desses aços inoxidáveis também é conhecida como dureza “total” ou “máxima”.

Aço	Teor de Carbono típico (%)	Temperatura de austenitização (°C)	Dureza
410	0,12	927 - 1010	C43
420	0,31	982 - 1066	C54
440	0,65	1010 - 1066	C60

Tabela 3 - Dureza típica "como temperado".

É importante que haja tempo suficiente para garantir que o material seja aquecido de maneira uniforme. Uma vez que se atingiu a temperatura, um longo encharque não é necessário nem desejável. Dez a 15 minutos são adequados para peças pequenas. Para seções grandes, isso pode ser aumentado para meia hora. Prolongar o tempo de encharque não aumentará a dureza após tempera e pode resultar em descarbonetação e crescimento de grãos.

Todos os aços inoxidáveis martensíticos endurecem completa e uniformemente com têmpera a óleo ou resfriamento a ar. A têmpera em óleo é frequentemente escolhida porque geralmente produz uma dureza ligeiramente maior do que o resfriamento ao ar. No entanto, o resfriamento a ar é uma prática mais segura para lidar com seções grandes ou seções irregulares e com filetes pontiagudos, onde a distorção ou rachaduras das peças endurecidas podem ser um problema.

A têmpera com água não é uma boa prática e é provável que produza trincas, particularmente no caso dos aços com alto carbono. O óleo quente é um meio de têmpera bem-sucedido. Os banhos de óleo aquecidos a aproximadamente 120 oC ou resfriamento ao tndem a eliminar a possibilidade de trincas sem perda apreciável de dureza.

A transformação de austenita em martensita não ocorre imediatamente na têmpera. A martensita não se forma até que a temperatura do metal atinja 288 a 399 oC. Portanto, as peças não devem ser removidas do tanque de têmpera e transferidas para o alívio de tensões, ou revenido, até que tenham resfriado abaixo desta faixa e tenham se tornado definitivamente martensíticas.

Pré-aquecimento

Pré-aquecimento para aço como o 410 são geralmente desnecessários, exceto para seções grandes ou complicadas. Nesses casos, o aquecimento rápido pode causar tensões térmicas suficientes para rachar o material.

Os aços 420 e 440 são geralmente pré-aquecidos por causa de seu alto teor de carbono. Peças pequenas podem ser levadas imediatamente para 790 °C, mas peças grandes devem ser iniciadas com 540 °C e então aumentadas lentamente para 790 °C. O tempo nas temperaturas de pré-aquecimento deve ser sempre longo o suficiente para garantir que as peças fiquem encharcadas, podendo ser estendido em até 1 a 2 horas. Após o pré- aquecimento, as peças podem ser elevadas rapidamente à temperatura de têmpera.

Alívio de Tensões

A têmpera deve sempre ser seguida por alívio de tensões ou revenimento. O alívio de tensões é realizado em uma temperatura relativamente baixa, 149 a 427 °C, enquanto o revenimento requer temperaturas mais altas de 593 a 760 °C.

Os aços inoxidáveis de alto carbono, tipos 420 e 440, exibem sua resistência máxima à corrosão após o alívio de tensões. Não são colocados em serviço na condição revenida ou recozida.

O alívio de tensão deve ser feito imediatamente após a têmpera - de preferência quando as peças ainda estiverem quentes ao toque. Em nenhum caso as peças totalmente endurecidas, ainda sem o alívio de tensões, devem ficar espalhadas pela oficina, especialmente em climas frios. Trincas podem ocorrer e ficarem ocultas até após a decapagem ou acabamento da superfície.

O alívio de tensões resulta em uma ligeira redução da dureza “como têmpera”, mas melhora a ductilidade, tenacidade e propriedades elásticas. As temperaturas de alívio de tensões listadas na tabela 5 são usadas com sucesso para o aços inox martensíticos.

O lado inferior da faixa de temperatura de alívio de tensão é melhor onde a dureza máxima é desejada, o lado intermediário da faixa onde a tenacidade máxima é necessária e o lado alto onde as propriedades elásticas máximas são desejadas.

Aço	Temperatura de Alívio de tensões (°C)
410	204 – 316 - 427
420/440	316

Tabela 5 - Temperaturas de alívio de tensão para aços inoxidáveis martensíticos.

Revenimento

Uma ampla gama de propriedades mecânicas pode ser obtida através do revenido seletivo do aço 410. As temperaturas de revenido dependem principalmente das propriedades desejadas. Como a maioria dos aços liga, os aços inoxidáveis endurecíveis desenvolvem menor resistência ao impacto quando revenidos na faixa de cerca de 427 a 566 °C. Na parte superior desta faixa, a resistência máxima à corrosão não é obtida. O revenimento é, portanto, geralmente realizado na faixa de 593 a 766 °C.

Nas operações de revenimento, à medida que a temperatura aumenta ou o tempo se prolonga, a resistência à tração, o limite de escoamento e a dureza diminuem; e resistência ao impacto e o alongamento aumentam.

A taxa de resfriamento das temperaturas de revenimento não tem efeito marcante nas propriedades de tração ou dureza. As peças são geralmente resfriadas a ar.

A figura 5 pode ser usada como um auxílio na seleção da temperatura para o revenimento do aço 410. Nela mostra-se a relação entre a temperatura e a dureza para peças revenidas por 4 horas. A dureza na condição “como têmpera” é de Brinell 380 a 400.

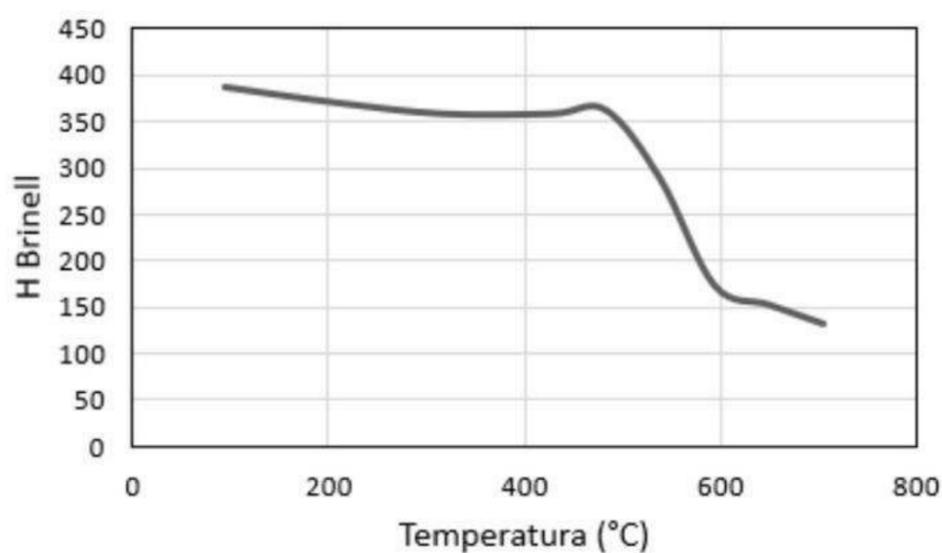


Figura 5: Dureza versus temperatura de revenimento para um aço 410 (temperatura de tempera 980 °C, resfriado no óleo, tempo de revenimento 4 horas).

Recozimento

O amolecimento total dos tipos martensíticos é obtido por aquecimento acima da temperatura crítica inferior e resfriamento lento. A temperatura de recozimento para cada classe está listada na tabela 6. O tempo na temperatura depende do tamanho da carga e deve ser de cerca de 1 a 3 horas. A taxa de resfriamento pode variar entre 14 a 28 °C por hora, taxas mais lentas proporcionando durezas ligeiramente menores. O resfriamento lento pode ser interrompido em 590 a 650 °C, o material retirado do forno e resfriado tão rapidamente quanto desejado.

Para qualquer um dos aços martensíticos, a menos que a máxima suavidade e ductilidade sejam necessárias para a conformação a frio severa ou outras operações de processamento, não é necessário recorrer a tratamentos de recozimento completo.

Aço	Temperatura (°C)	Tempo (hora)	Resfriamento(*)	Dureza - HRB
410	843-899	1 - 3	Lento	75 – 83
420	871-899	1 - 2	Lento	86 – 93
440	885-913	1 – 2	Lento	98 - 23

(*) 14 to 28 oC por hora até 590 oC -
Tabela 6 - Recozimento completo ou pleno.

Aço	Temperatura (°C)	Tempo (horas)	Resfriamento	Dureza - HRB
410	735 -788	1 - 3	Any	86 - 92
420	732 - 788	1 - 4	Any	94 - 97
440	732 - 788	1 - 4	Any	100 - 26

Tabela 7 - Recozimento de processo

CONCLUSÕES

Foi demonstrado que todos os aços inox são suscetíveis a algum tipo de tratamento térmico para otimizar suas propriedades mecânicas e sua resistência à corrosão.

Não foi detalhado neste artigo, mas os aços duplex e os aços endurecíveis por precipitação (PH) também necessitam destes tratamentos, em especial os aço PH que querem sofisticadas operações de têmpera seguida de revenido.

MÓDULOS DE TREINAMENTO

CONHECENDO

OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Coordenação:

ABINOX

Por:

Eng. Ronaldo Claret Ribeiro da Silva

**ENVIE SUAS DÚVIDAS OU
COMENTÁRIOS PARA O
ESPECIALISTA DA ABINOX:**

 www.abinox.org.br  [/abinox](https://www.linkedin.com/company/abinox)

 (11) 963405604

 [/associação.abinox](https://www.facebook.com/associação.abinox)

 [@abinox.oficial](https://www.instagram.com/abinox.oficial)

 [@abinox](https://www.youtube.com/@abinox)