

MÓDULOS DE TREINAMENTO

# CONHECENDO OS AÇOS INOXIDÁVEIS

Coordenação:

**ABINOX**

Por:

**Eng. Ronaldo Claret Ribeiro da Silva**

**3.1**

**TRATAMENTO TÉRMICO DOS  
AÇOS INOXIDÁVEIS  
AÚSTENÍTICOS E FERRÍTICOS**

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

Os aços inox podem ser tratados termicamente de várias maneiras, variando do recozimento para alívio de tensão em baixa temperatura ao endurecimento por têmpera e revenido e ao recozimento de solubilização. Um tratamento térmico impróprio pode ter um efeito significativo na resistência à corrosão e nas propriedades mecânicas e físicas.

Neste módulo será abordado o tratamento térmico dos aços inox austeníticos e ferríticos.

## Tratamento Térmico dos Aços Inox Austeníticos

**Os aços inoxidáveis austeníticos não podem ser endurecidos por tratamento térmico. No entanto, eles podem ser consideravelmente endurecidos por trabalho a frio.**

Uma vez que estes aços inox não podem ser endurecidos termicamente, as únicas operações de tratamento térmico são o recozimento de solubilização e o alívio de tensões. Esses tratamentos são usados para restaurar a ductilidade reduzida pelo trabalho a frio e a resistência à corrosão prejudicada pelo trabalho a quente ou soldagem.

Decidir qual tratamento, solubilização ou alívio de tensões não é difícil. No entanto, como muitos fatores estão envolvidos, como a peça é feita, requisitos de serviço e gravidade da exposição à corrosão, freqüentemente há dúvidas se, e como, uma peça deve ser tratada termicamente.

Naturalmente, os custos de fabricação devem ser reduzidos ao mínimo. Mas o aço inoxidável é especificado principalmente por sua corrosão e propriedades mecânicas, que devem ser preservados na peça acabada.

## Precipitação de carbonetos

Se os aços inoxidáveis austeníticos típicos forem tratados termicamente ou resfriados lentamente na faixa de 427 a 816 °C, parte do cromo e do carbono do aço se combinam para formar carbonetos de cromo, figura 1. Esse fenômeno ocorre nos contornos dos grãos, reduzindo o cromo dessas áreas. O grau de precipitação de carbonetos depende do teor de carbono do metal, bem como do tempo dentro da faixa de sensibilização e da temperatura envolvida. Menos cromo nos contornos dos grãos resulta em menor resistência à corrosão. Quando as peças de aço inoxidável estão sujeitas a meios severamente corrosivos, os contornos de grão empobrecidos em cromo podem levar à ocorrência de corrosão intergranular.

Trabalho a quente, soldagem ou qualquer outra exposição na faixa de temperatura de sensibilização podem produzir precipitação de carboneto de cromo e reduzir a resistência à corrosão. Se uma peça de aço inoxidável for ser exposta a serviço severamente corrosivo, tal condição deve ser corrigida. Isso é feito pelo recozimento de solubilização na faixa de temperatura prescrita seguido de resfriamento rápido. O recozimento de solubilização redissolve os carbonetos, restaurando a resistência total à corrosão. O resfriamento rápido evita qualquer precipitação significativa de carboneto durante o ciclo de resfriamento.

Os aços inoxidáveis extra baixo carbono (0,03% máx.), em virtude de seus teores de carbono extremamente baixos, são imunes à precipitação prejudicial de carboneto em soldagem ou outros períodos curtos de exposição na faixa de temperatura de sensibilização. Mas, mesmo para este produto não é recomendado para aplicações onde a temperatura de serviço será de 427 a 816 °C. A exposição por um longo tempo produzirá uma precipitação de carboneto suficiente para criar uma condição potencialmente insatisfatória.

Os aços inoxidáveis estabilizados, tipos 321, 347 e 348, também podem ser usados para evitar a precipitação de carbonetos de cromo e são adequados para serviços na faixa de 427 a 816 °C. Essas ligas contêm elementos que se combinam com o carbono, evitando a formação dos carbonetos de cromo prejudiciais. Por causa do custo mais alto, eles são normalmente limitados a peças que estarão sujeitas a temperaturas operacionais na faixa de sensibilização e a ambientes severamente corrosivos.

A importância da precipitação de carboneto de cromo às vezes é superestimada. Se as peças forem expostas a meios severamente corrosivos, todas as precauções devem ser tomadas para evitar a corrosão intergranular. Mas, para muitas aplicações onde o meio corrosivo é moderado, a precipitação de carboneto e seus problemas relacionados não são significativos. Nestes casos, os aços 304 e 316 devem se mostrar satisfatórios, sem a necessidade de recozimento de solubilização.

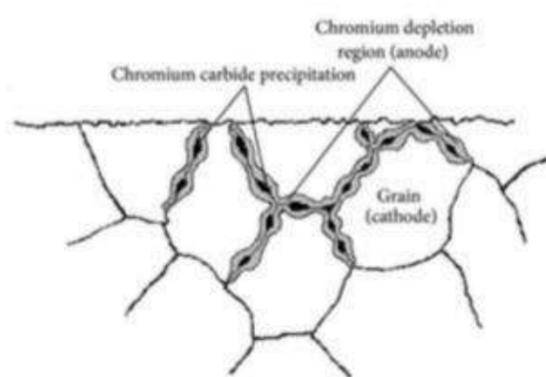
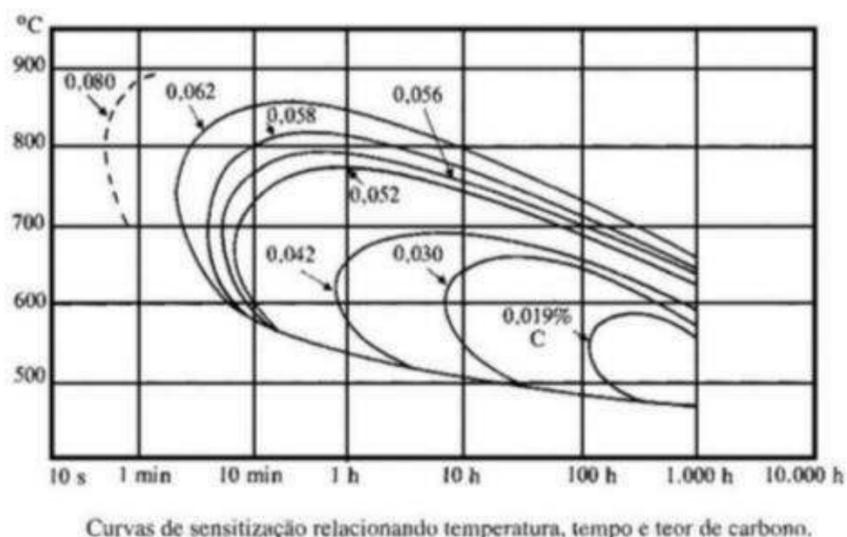


Figura 1: Precipitação de Carbonetos de Cr e Sensitização de um aço inox austenítico

## Recozimento de Solubilização

As faixas de temperaturas do recozimento de solubilização para cada tipo de aço são mostradas na tabela 1. Em geral, o inferior da faixa pode ser usado quando o teor de carbono é baixo e o lado superior quando o teor de carbono é alto. A dureza após o recozimento de solubilização depende da temperatura e do tempo de recozimento. Para um mesmo tempo, o lado superior da faixa de temperatura proporcionará uma dureza ligeiramente inferior.

Aço Inox	Temperatura (°C)
301/304/316	1040 - 1120
304L/316L/321	955 - 1065
310	1040 – 1120

Tabela 1 – Temperatura de Solubilização para os aços inox austeníticos

O tempo na temperatura de recozimento de solubilização não precisa ser longo. O material é totalmente recristalizado e os carbonetos dissolvidos rapidamente após a peça ou carga ser aquecida uniformemente até a temperatura. Materiais finos requerem um encharque de apenas um ou dois minutos. Uma boa regra é tempo de encharque à temperatura de três minutos para cada 2,5 mm de espessura. Quarenta e cinco minutos, ou mais, podem ser necessários para seções pesadas.

Aços austeníticos devem ser resfriados rapidamente das temperaturas de recozimento para manter os carbonetos em solução. Resfriamento em água ou óleo é a prática mais segura. Se a distorção for um problema, o resfriamento com ar pode ser usado, mas haverá perda de resistência à corrosão. Resfriamento ao ar pode ser realizado com segurança para materiais até 6,35mm de espessura.

O resfriamento do aço 310 é sempre em água, pois esse aço precipita carbonetos de cromo, mesmo com resfriamento rápido a ar. Peças grandes ou cargas pesadas devem ser resfriadas o mais rápido possível após a remoção do forno.

## **Procedimentos para os aços estabilizados**

Os aços estabilizados são solubilizados da mesma forma que os outros aços austeníticos. O recozimento na parte superior da faixa de temperatura fornece a máxima ductilidade necessária para operações de conformação a frio severas subsequente.

Devido a alta solubilidade (em altas temperaturas) dos carbonetos de Titânio e Nióbio, os materiais aquecidos e resfriados rapidamente não tem tempo para estes carbonetos precipitarem, ficando carbono em solução que precipitará como Carboneto de Cromo, caso o material seja aquecido na faixa de sensibilização. Este fenômeno é evitado com um "recozimento de estabilização", que consiste no aquecimento do material entre 870 a 900 oC por cerca de 2 a 4 horas, seguido de resfriamento em ar ou água. Neste tratamento se precipita completamente todos os carbonetos como carbonetos estáveis de titânio, ou nióbio, melhorando a resistência à corrosão.

Na maioria dos casos, este tratamento não é necessário, uma vez que as ligas são suficientemente estabilizadas. No entanto, quando eles forem expostos a ambientes severamente corrosivos na faixa de 427 a 816 oC, eles devem receber este recozimento de estabilização como uma operação final.

## **Alívio de Tensão**

Visa remover as tensões introduzidas pelo trabalho a frio ou por operações de soldagem. O alívio de tensões é normalmente realizado entre 260 a 427 oC por 0,5h a 2h seguido de resfriamento a ar. Deve-se evitar temperaturas acima de 427 oC, exceto para os aços extra- baixo carbono ou estabilizados. Neste caso pode-se utilizar temperaturas até 930oC.

Nos caso de aços austeníticos deformados a frio para desenvolver alta resistência, o alívio de tensões melhorará suas propriedades elásticas e resistência ao escoamento. Também evitará trincas em peças fortemente conformadas, as "delayed cracking".

Para reduzir a suscetibilidade à corrosão sob tensão são recomendadas temperaturas de pelo menos 871 °C. O grau de alívio depende da temperatura, e nenhuma regra definitiva foi estabelecida.

O alívio de tensões em estruturas soldadas pode ter algum efeito adverso na resistência à corrosão ou nas propriedades mecânicas, por causa da precipitação de carbonetos ou outras mudanças estruturais.

## Tratamento Térmico dos Aços Inox Ferríticos

Os aços inoxidáveis ferríticos não endurecem em nenhuma extensão apreciável quando temperados em altas temperaturas. Devido ao seu cromo mais alto, não se consegue uma austenitização plena, condição essencial para a têmpera. Na figura 2 ilustra-se este fato para um aço 430: na região de maior quantidade de austenita, têm-se apenas 35% desta fase. Após resfriamento rápido, esta austenita se transforma em martensita, localizada nos contornos de grão. Não há aumento apreciável da dureza, cerca de 25-27 Brinell, mas há grande perda de ductilidade.

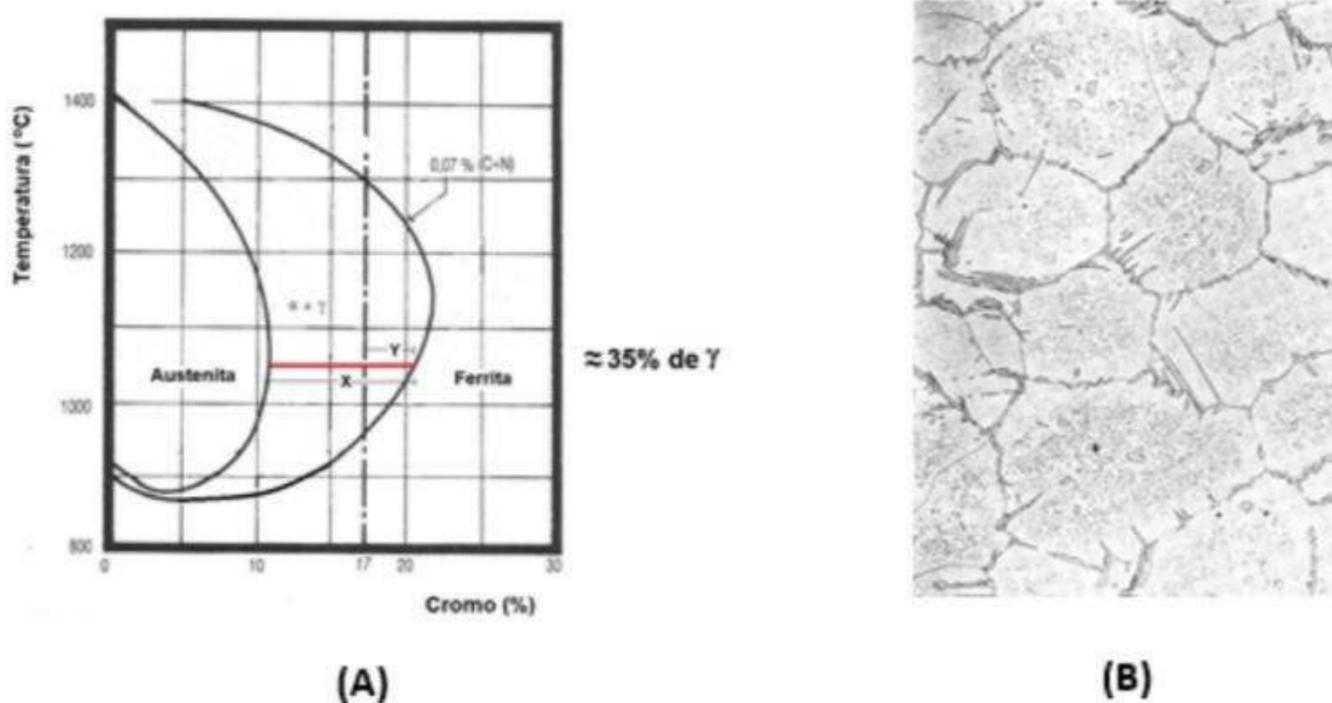


Figura 2: (a) Região bifásica do diagrama Fe-Cr para um aço 430, (b) Micrografia de um aço 430 temperado a partir de 1100 oC, martensita localizada nos contornos de grão.

No caso dos aços estabilizados com Ti, Nb ou Ta, a região bifásica é muito reduzida, não havendo formação de austenita no aquecimento. Portanto, aços estabilizados não são temperados em nenhum grau. O tratamento térmico para a classe dos aços inoxidáveis ferríticos é geralmente limitado ao recozimento. Isso é frequentemente necessário entre operações de estampagem ou após trabalho a frio.

Aços inoxidáveis ferríticos 430 tendem a desenvolver uma estrutura de granulação grossa e tornar-se fragilizados se mantidos por um período prolongado acima de 900 °C. Eles normalmente devem ser recozidos em temperaturas abaixo de 840 °C. Recozimentos de curta duração em temperaturas de até 930 °C são comumente usados em aços com baixo teor de carbono ou estabilizados com Ti ou Nb. Veja tabela 2.

Aço Inox	Faixa de temperatura (°C)	Tempo	Resfriamento	Dureza (RB)
430	760 - 840	1 a 2 horas para secções espessas	Ar ou água	77 - 85
439	816 - 930	3 min para cada 2,5mm de espessura para materiais finos		72 - 80

Tabela 2 – Procedimentos de recozimento para os aços inox ferríticos.

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 °C 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.

# 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](http://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)