

Capítulo 5

**Tratamento térmico
dos materiais
metálicos**



tratamento térmico é constituído basicamente de aquecimento dos metais a determinada temperatura, seguido de um resfriamento controlado, considerando alguns fatores, tais como: tempo de aquecimento e resfriamento, temperatura (em função do tamanho da peça), profundidade do aquecimento e/ou adição de componentes químicos na superfície da peça, que variam em função do tamanho e da composição química do material da peça e das alterações das propriedades que se deseja.

A definição do tratamento térmico é feita no projeto da peça, com a finalidade da escolha ideal do tratamento e do material que a peça vai conter.

Objetivos dos tratamentos térmicos:

- homogeneizar peças que sofreram aquecimento excessivo, como soldagem e peças brutas de fundição;
- aumento ou diminuição da dureza para diversas aplicações, como melhora na estampabilidade, usinagem ou peças que necessitam melhora na resistência ao desgaste;
- melhora na resistência mecânica;
- melhora na resistência à corrosão;
- melhora na resistência ao calor;
- modificação das propriedades elétricas e magnéticas.

Os tratamentos térmicos podem ser divididos em:

- **Tratamento térmico:** envolve o aquecimento de peças somente com o calor, sem adição de elementos químicos na superfície do aço.
- **Tratamento termoquímico:** além do calor, envolve a adição de elementos químicos na superfície do aço.

5.1 Tratamento térmico

5.1.1 Recozimento

O principal objetivo do recozimento é reduzir a dureza do aço, que pode ter sido causada por tratamentos como: conformação a frio (encruamento), tratamentos térmicos de endurecimento, processos de soldagem, fundição ou outros que geram endurecimento.

O tratamento consiste em elevar a temperatura da peça até a região da austenita e resfriar lentamente. Essa temperatura depende do teor de carbono do material a ser tratado. Os fabricantes sempre indicam a temperatura e a forma de resfriamento necessárias a cada tipo de aço por eles fabricado. Geralmente, para os aços de baixo carbono indica-se o resfriamento com a peça envolvida em areia e para os aços de alto carbono, o resfriamento controlado dentro do forno.

O recozimento altera as propriedades mecânicas e elétricas, assim como a microestrutura. É aplicado quando se deseja melhorar a condição de trabalho como usinagem, estampagem, ou outro tipo de deformação provocada pela queda na dureza e resistência mecânica.

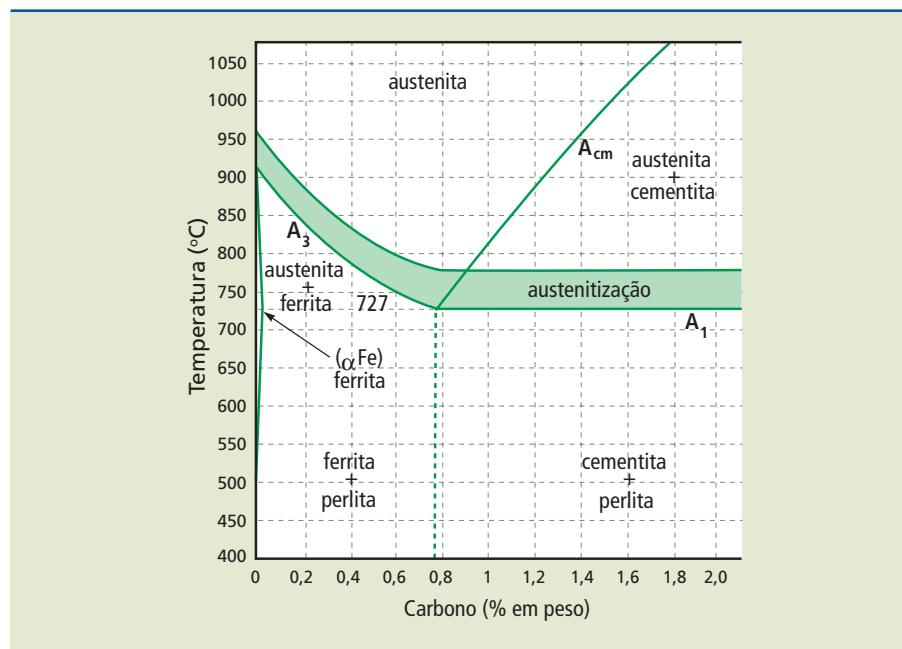
Figura 5.1



©JAN HALASKA / PHOTO RESEARCHERS

Figura 5.2

Temperaturas de austenitização indicadas para recozimento.



Recozimento para alívio de tensões

Esse método consiste no aquecimento do aço a temperaturas abaixo da austenita (figura 5.4). O objetivo é reduzir as tensões originadas durante a solidificação, corte por chama, soldagem ou usinagem, ou qualquer tipo de deformação a frio. Essas tensões começam a ser aliviadas a temperaturas logo acima da ambiente.

Figura 5.3

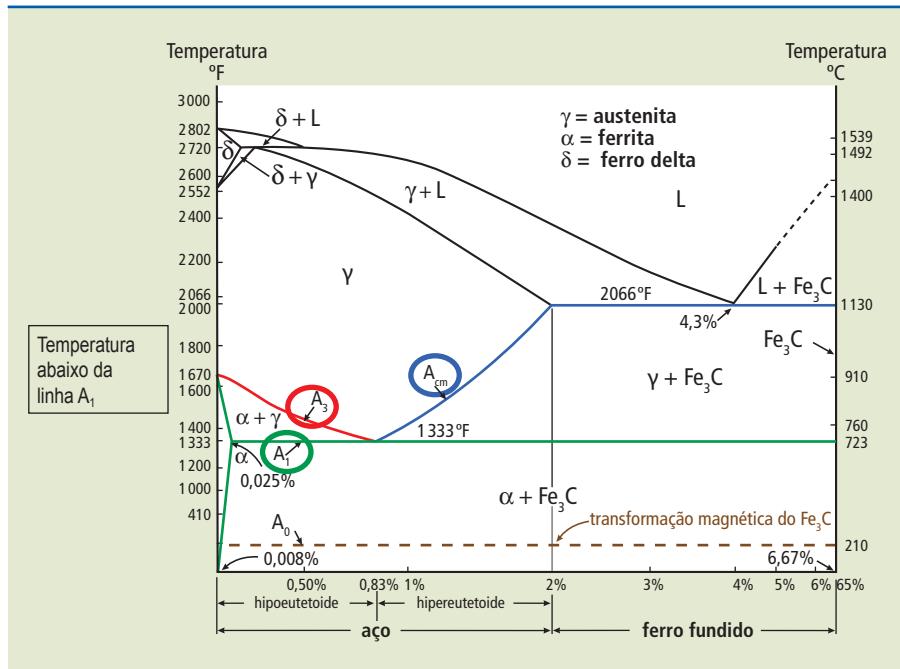
Corte de aço por chama



Conforme o tipo de aço, varia de 1440 °C a 1530 °C

Esse tratamento gera um rearranjo formando novos cristais, também conhecido como recristalização. A temperatura de aquecimento dever ser de um terço até metade da **temperatura de fusão do aço**.

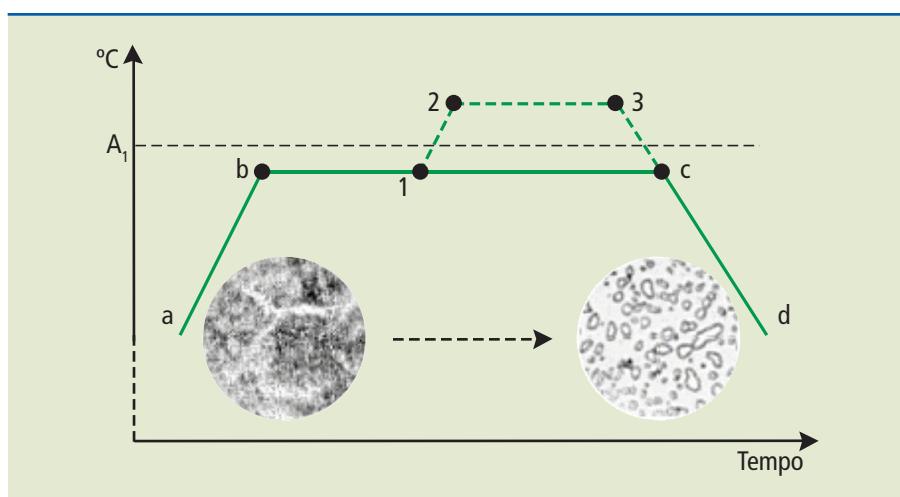
Para proteger as peças acabadas contra a corrosão e a perda de carbono causadas pela temperatura com o oxigênio da atmosfera do forno, as peças são colocadas em ambientes vedados, para impedir a entrada de oxigênio, ou mergulhadas em banhos de sal, impedindo assim sua oxidação.



Esferoidização

Tratamento também conhecido como coalecimento, consiste no aquecimento próximo da zona crítica. É um tratamento de várias horas dentro do forno e visa amolecer materiais de altos teores de carbono e quebrar as redes de cementitas, deixando as globulares ou esferoidais com uma matriz ferrítica, o que facilita a usinagem e a deformação a frio.

A figura 5.5 mostra a faixa usual de temperatura para esse tratamento.



Para materiais com altos teores de carbono, como o aço 52100 de elevada dureza, usado na fabricação de rolamentos (figura 5.6), é realizado o tratamento de esferoidização para melhorar a usinagem. Com esse tratamento se reduzem os custos de fabricação com ferramentas de usinagem e os tempos. Depois

Figura 5.4
Temperaturas de
recozimento para
alívio de tensões.

Figura 5.5
Faixa de temperatura
de esferoidização.



de pronta, a peça sofrerá mais um tratamento térmico para endurecer novamente e resistir ao atrito gerado em uso.

Figura 5.6

Rolamentos.



ADEM DEMIRSHUTTERSTOCK

5.1.2 Normalização

A normalização é um tratamento térmico que consiste no aquecimento do aço até sua completa austenitização, seguido de resfriamento ao ar.

Além de causar melhor uniformidade da estrutura, o objetivo maior da normalização é a homogeneização e o refino do tamanho de grão de estruturas obtidas de trabalho a quente (laminação e forjamento) de aços fundidos e soldagem.

A normalização também é utilizada antes do tratamento térmico para evitar o aparecimento de trincas e empenamento.

Figura 5.7

Laminação do aço.



OLEG - FSHUTTERSTOCK

5.1.3 Têmpera

Antigamente, na fabricação de espadas, por exemplo, o artesão, quando aquecia o metal até que ficasse “avermelhado”, para deformar com maior facilidade (forjar), e logo em seguida o mergulhava na água, estava realizando um tratamento térmico chamado têmpera.

Esse tratamento térmico é geralmente aplicado aos aços com porcentagem igual ou maior do que 0,4% de carbono. Consiste no aquecimento até sua completa austenitização (figura 5.2), seguido de um resfriamento rápido. O resfriamento pode ser na água, salmoura e até mesmo em óleo, que é o de menos severidade. A velocidade de resfriamento, nessas condições, dependerá do tipo de aço, da forma e das dimensões das peças. O resultado é a transformação da austenita em martensita.

O principal objetivo da têmpera é o aumento de dureza. Podem ocorrer também tensões internas, que são eliminadas pelo tratamento térmico de revenimento.

A tabela 5.1 evidencia alguns materiais e a faixa usual de aquecimento para o tratamento de têmpera.

Tabela 5.1

Faixa usual de aquecimento para o tratamento de têmpera.

Material a temperar	Têmpera			
	Temperatura de preaquecimento	Temperatura de têmpera	Cor do material na temperatura	Resfriar em
Aço 1040 a 1050	500 °C	830 °C	Vermelho	Água
Aço 1060 a 1080	500 °C	790 °C	Vermelho escuro	Água ou óleo
Aço 1090	500 °C	775 °C	Vermelho cereja	Óleo
Aço prata	550 °C	800 °C	Vermelho escuro	Óleo
Aço para molas	600 °C	875 °C	Vermelho claro	Óleo
Aço rápido	500 °C a 900 °C	1300 °C	Branco	Óleo

5.1.4 Austêmpera

Esse tratamento térmico é indicado para materiais com altos teores de carbono. A peça austenitizada é resfriada (mergulhada) a aproximadamente 400 °C, em um banho de sal fundido e mantida nessa condição por determinado tempo. Após a formação da estrutura bainítica, a peça é resfriada até a temperatura ambiente, podendo ser resfriada ao ar.

Esse processo vai fornecer ao aço uma dureza inferior à de um material temperado e revenido, porém com tenacidade maior. A microestrutura bainítica pode ser observada na figura 5.8.

Figura 5.8

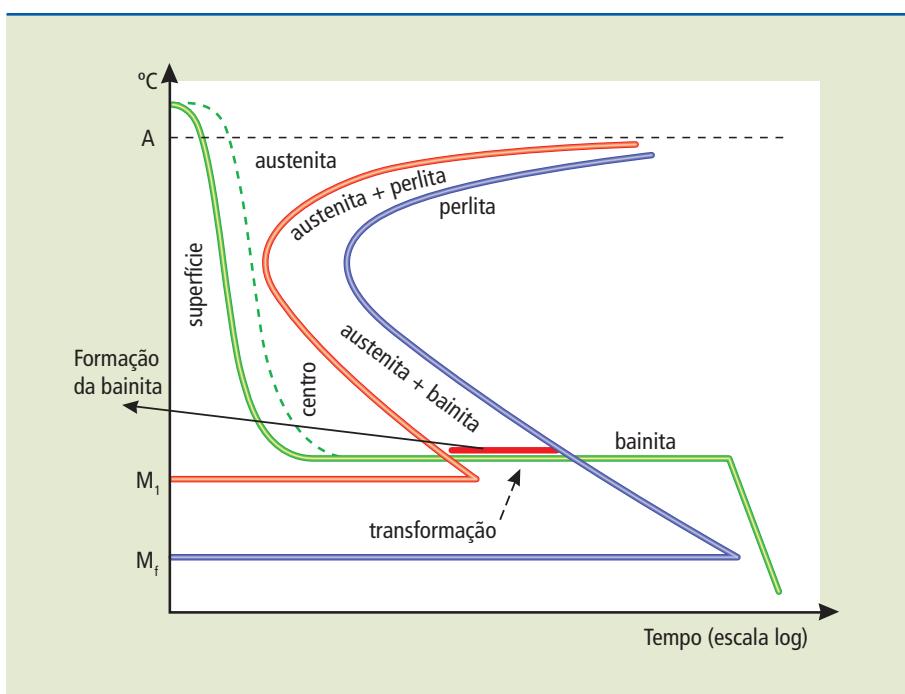
Microestrutura bainítica.



FOTO OBTIDA EM LABORATÓRIO / UNIMEP

Figura 5.9

Curva de resfriamento obtendo-se bainita.



5.1.5 Martêmpera

Esse tratamento térmico é realizado com uma interrupção no resfriamento, para evitar empenamentos causados por resfriamentos bruscos.

O material é aquecido acima da linha A ou linha crítica, mostrada na figura 5.10. Após o material estar homogenizado na austenita, é resfriado em duas etapas. Depois desse processo, o aço deve ser revenido para retirar quaisquer tensões causadas pelo resfriamento rápido.

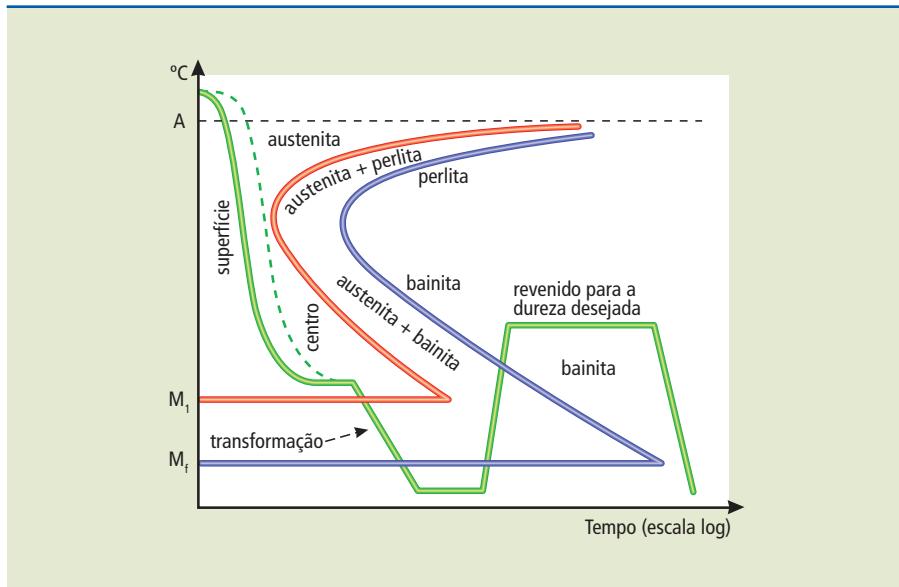


Figura 5.10
Curva de resfriamento obtendo martensita por meio de martêmpera.

5.1.6 Revenimento

O revenimento é um tratamento térmico realizado após a têmpera. Todo material temperado gera tensões internas que podem provocar trincas, e o revenimento é utilizado para aliviar essas tensões e corrigir a dureza do material.

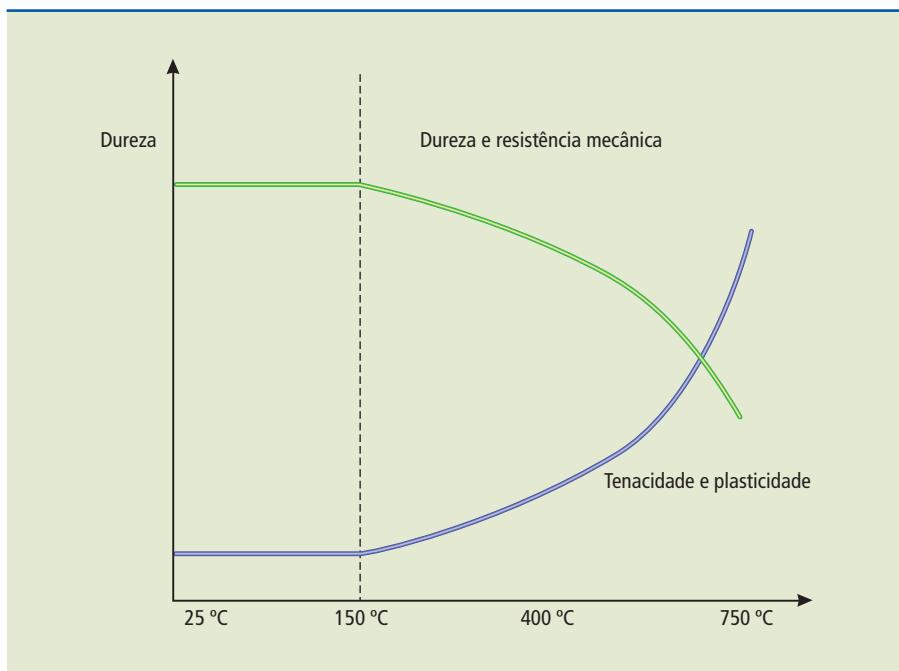


Figura 5.11
Variação das propriedades mecânicas do aço (esquema) em função da temperatura de revenimento.

As faixas de temperatura para revenimento podem variar de 150 °C a 700 °C (figura 5.11). Quanto maior a temperatura, menor a dureza da peça e maior a tenacidade, a capacidade do material em absorver impactos. As indústrias fabricantes de aço fornecem para cada material uma curva de revenimento relacionando dureza com as temperaturas de revenimento.

5.2 Têmpera superficial

A têmpera superficial consiste no aquecimento superficial da peça até certa profundidade. Essa profundidade pode variar com o tempo que a peça fica exposta ao calor e com a intensidade do calor. A região aquecida até a temperatura de austenitização e logo resfriada atingirá a têmpera e será endurecida. O tempo de aquecimento é muito pequeno (alguns segundos), e o resfriamento se dá normalmente em água. O tratamento é indicado para materiais com teor médio de carbono. Ele confere alta resistência e dureza à superfície do material, melhora significativa da fadiga e da resistência ao desgaste. O núcleo mantém sua tenacidade geralmente alta, e sua microestrutura e suas propriedades não mudam.

A têmpera superficial é aplicada, por exemplo, em pinos, correntes, ganchos de talhas e engrenagens. Pode ser realizada por dois processos: indução ou chama.

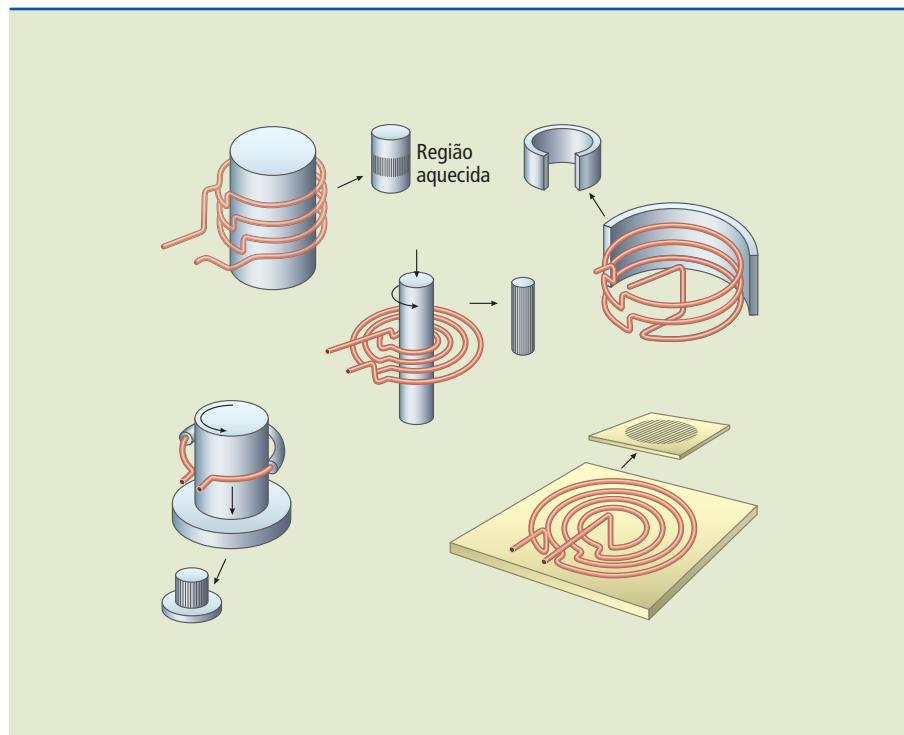
5.2.1 Aquecimento por indutor

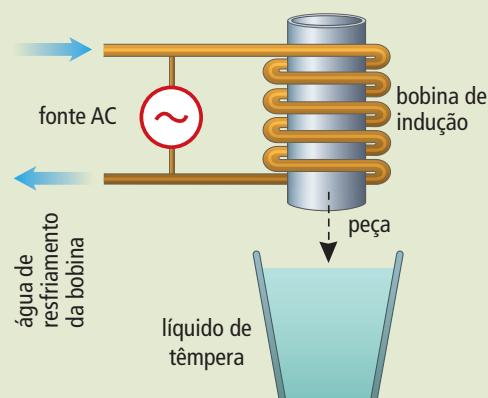
Um indutor – que funciona como bobina induzindo a passagem da corrente elétrica – gera altas temperaturas quando um material condutor se aproxima dele. A figura 5.12 mostra exemplos de aquecimento produzido por vários tipos de bobinas.

A corrente induzida em uma peça é máxima na superfície e diminui rapidamente em seu interior. Esse processo é facilmente automatizado para produção de peças em série.

Figura 5.12

Campo magnético e correntes induzidas produzidas por várias bobinas de indução.

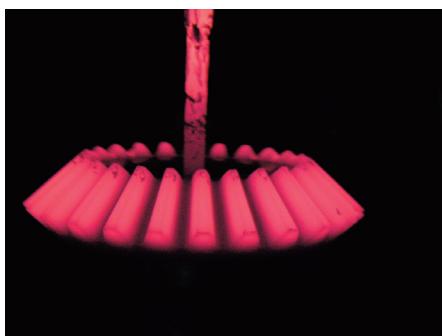
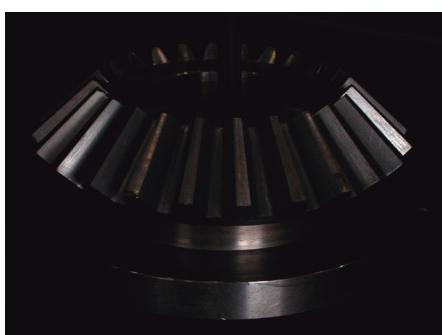


**Figura 5.13**

Esquema de têmpera superficial por indução.

5.2.2 Aquecimento por chama

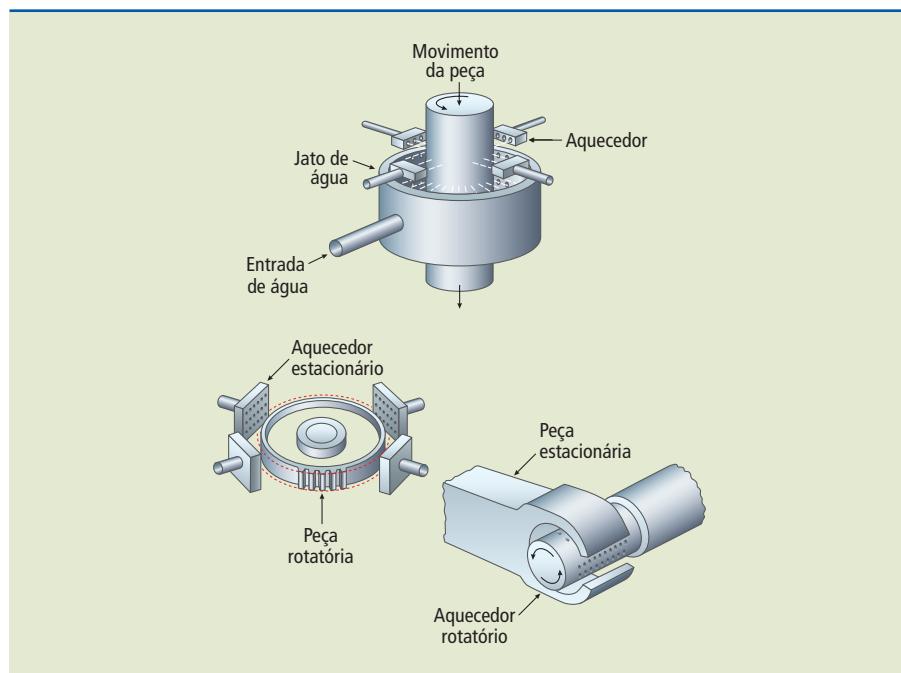
O aquecimento por chama (figuras 5.14 e 5.15) é realizado normalmente por meio de bicos de chama, como um maçarico. Esse aquecimento pode ser feito em parte da peça em que se deseja realizar o tratamento, ou seja, na região da peça cuja superfície se deseja endurecer. Logo após atingir a temperatura adequada de austenitização, a região é resfriada bruscamente, em geral com jatos de água. Nesse processo, a camada endurecida fica mais irregular por causa da dificuldade de manter o aquecimento homogêneo por toda a superfície da peça.

**Figura 5.14**

Engrenagem, tratamento de têmpera superficial e aquecimento por chama.

Figura 5.15

Dispositivos para têmpera superficial por chama.



Vantagens de utilizar o aquecimento por chama:

- tratamento de pequenas regiões que se deseja endurecer;
- adequado para peças muito grandes que necessitam de fornos com alta capacidade;
- utilização de materiais mais baratos, que podem ser endurecidos.

5.3 Tratamentos termoquímicos

Esses tratamentos têm como definição o aquecimento do material a temperaturas adequadas. Com elementos químicos na atmosfera do forno, esse processo produz na peça uma camada fina e dura.

O principal objetivo desse tipo de tratamento é o aumento da dureza e da resistência ao desgaste na superfície, mantendo o núcleo tenaz.

Os processos termoquímicos são classificados em: cementação e nitretação.

5.3.1 Cementação

A cementação é um tratamento termoquímico que visa adicionar carbono na superfície da peça e logo depois resfriá-la bruscamente. Esse tratamento é indicado para materiais com baixo teor de carbono, menor ou igual a 0,25%. Alguns aços mais utilizados são ABNT 1010, ABNT 1020, ABNT 8620, entre outros.

A peça cementada fica com um potencial de carbono na superfície de aproximadamente 0,8% a 0,9%, e o núcleo se mantém conforme a composição química do aço. Após o resfriamento brusco, a superfície com alto teor de carbono obtém altíssima dureza, e o núcleo se mantém tenaz.

A cementação é realizada em peças como engrenagens (figura 5.16), buchas e naquelas em que se deseja alta resistência ao desgaste na superfície e alta tenacidade no núcleo. Exemplo: as engrenagens que compõem o câmbio de um veículo são cementadas, pois, se fossem duras por inteiro, não suportariam arrancadas bruscas.

Em geral, a profundidade de camada cementada não ultrapassa 2 mm. Por ser um processo demorado, a cementação necessita de várias horas de forno.



© JOHN EARLY/TRANSICICK/CORBIS

Figura 5.16

Engrenagens de uma caixa de câmbio de automóveis.

Cementação gasosa

Nesse processo, a peça a ser cementada é colocada em um forno com potencial de carbono controlado. Dentro da atmosfera do forno são utilizados gases, como gás natural, propano e, em alguns casos, álcool etílico volatilizado. Com o controle desses gases, ocorrem reações nas quais o aço recebe carbono na superfície da peça. A profundidade de camada cementada pode variar de 0,5 a 2,0 mm e depende do tempo de permanência dentro do forno, da temperatura e do potencial de carbono na atmosfera dentro do forno.

Cementação líquida

Como o nome diz, as peças são mergulhadas em um líquido apropriado para esse tratamento, em geral cianeto de sódio (NaCN), um sal fundido. Assim, combinando a temperatura e o ambiente rico em carbono, ocorre uma reação química e o carbono é adicionado à superfície da peça. Quanto maior o tempo, maior a profundidade da camada cementada. Para esse tratamento, a camada cementada em geral varia de 0,5 a 2,5 mm de profundidade.

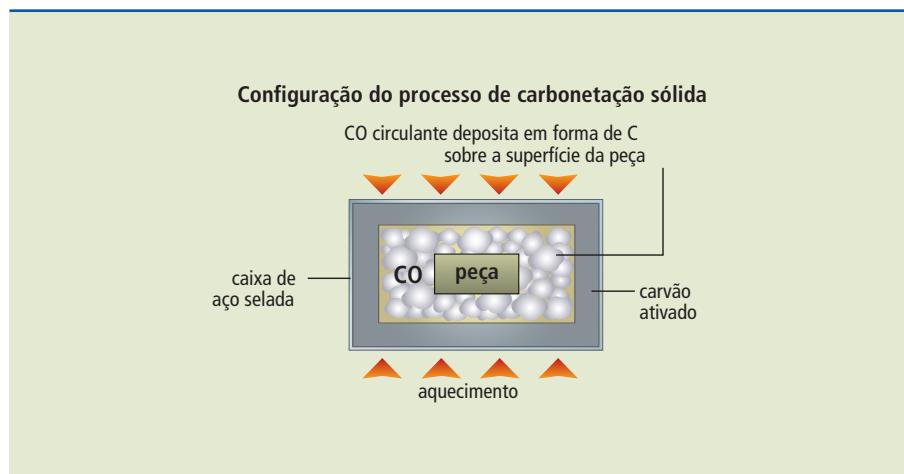
Cementação sólida

Nesse processo, as peças a serem cementadas são colocadas em caixas metálicas cobertas com material sólido, carvão de madeira ou coque; em seguida, são levadas ao forno a temperaturas de 815 °C a 955 °C. Nessa atmosfera a que a peça é submetida, o carbono vai penetrando em sua superfície (figura 5.17).



Figura 5.17

Processo de cementação sólida.



5.3.2 Carbonitretação

A carbonitretação é um processo que introduz carbono e nitrogênio na superfície do material. É semelhante ao processo de cementação a gás, e o gás utilizado é rico em carbono e nitrogênio. É realizado em temperaturas que podem variar de 700 °C a 900 °C, durante um tempo menor que a cementação a gás.

O principal objetivo é formar na peça uma camada extremamente dura, resistente ao desgaste e à fadiga. Por essa camada conter nitrogênio e carbono, o objetivo é alcançado, pois o nitrogênio melhora a temperabilidade dos aços, formando, assim, uma camada mais dura e mais profunda que a cementação.

5.3.3 Nitretação

Nitretação é o tratamento termoquímico de introdução de nitrogênio na superfície da peça por meio de aquecimento, que varia entre 500 °C a 570 °C, com o objetivo de endurecimento superficial. Esse processo gera na peça uma camada fina e extremamente dura.

A nitretação é realizada colocando-se a peça em fornos com temperaturas adequadas e com atmosfera rica em nitrogênio. Desse modo, o nitrogênio atômico se difunde na fase ferrita.

Os aços, após sofrerem esse processo, passam a obter algumas propriedades, como: alta dureza superficial, cerca de 70 HRC, e excelente resistência ao desgaste, à fadiga e à corrosão.

A nitretação apresenta camadas inferiores às cementadas, cerca de 0,015 a 0,9 mm de profundidade, porém com dureza maior. A profundidade depende do tempo, da temperatura e da composição química do aço.

Os aços mais utilizados para a nitretação são os de baixa-liga que contêm certos elementos em sua composição química, como alumínio, cromo, molibdênio e vanádio, formando, assim, os nitretos, conforme sua composição.



5.3.4 Boretação

A boretação consiste basicamente em colocar a peça em contato com um agente borante gasoso, líquido ou sólido – sendo este último o mais utilizado, por ter menor custo – e aquecer a peça a uma temperatura adequada, cerca de 700 °C a 1 000 °C, por aproximadamente 1 a 12 horas.

No aço se forma o boreto de ferro, que é extremamente duro. Nesse processo, a dureza chega a ser maior do que as obtidas nos outros processos de endurecimento superficial e, ainda, apresenta grande resistência à corrosão.



