

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**

**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**TIPOS DE FERROS FUNDIDOS E TRATAMENTOS TÉRMICOS APLICADOS**

Luis Guilherme Seidel

Lajeado, maio de 2016

O ferro fundido é uma liga metálica de ferro, carbono a partir de 2% e apresentado como carbono combinado ou carbono grafítico, silício entre 1 e 3%, podendo conter outros elementos químicos.

1. **Ferro fundido cinzento**

O ferro fundido cinzento é o mais comum pois tem baixo custo, sendo fabricado a partir de sucata, tem elevada usinabilidade, alta fluidez na fundição, permitindo a fundição de peças com paredes finas e complexas e facilidade de fabricação, já que não exige equipamentos complexos para controle de fusão e solidificação. Este tipo de material é utilizado em larga escala pela indústria de máquinas e equipamentos, indústria automobilística, ferroviária, naval e outras. Sua microestrutura apresenta-se com carbono na forma de grafita, em morfologia de lamelas e carbono na forma combinada, cementita (Fe3C). A superfície de fratura tem coloração cinza escura. Os tratamentos térmicos aplicados aos ferros fundidos cinzentos são:

**Alívio de tensões**: As peças de ferro fundido, ao resfriar a partir do estado líquido ficam sujeitas a tensões internas devido a diferenças as velocidades de resfriamento em diversas secções e às mudanças estruturais com consequente aparecimento de variações de volumes não uniformes. O alívio de tensões consiste no processo de aquecer as peças a uma temperatura inferior à faixa de transformação da perlita em austenita, durante um tempo determinado. O resfriamento, após aquecimento para alívio de tensões, deve ser conduzido com cuidado, pois um resfriamento rápido pode originar novas tensões internas. Recomenda-se, assim, que as peças sejam resfriadas no forno de aquecimento até a temperatura atingir 290°C, quando, então, podem ser resfriadas ao ar. Com peças de forma complexa, é recomendável que o resfriamento no interior do forno seja feito até a temperatura atingir 90°C.

**Recozimento**: O objetivo principal do recozimento é melhorar a usinabilidade do ferro fundido cinzento, para o que ele deve ser aquecido à temperatura correspondente à zona crítica para propiciar uma alteração da sua estrutura. A resistência mecânica e a dureza diminuem, ao mesmo tempo que as tensões internas são totalmente aliviadas.

**Normalização**: Esse tratamento é utilizado para melhorar as propriedades mecânicas do ferro fundido, tais como resistência à tração e dureza ou com o objetivo de restaurar as propriedades do estado bruto de fusão, cuja estrutura tenha sido alterada por outro processo de aquecimento, como, por exemplo, grafitização ou preaquecimento ou aquecimento posterior associados com soldagem de reparo (323). A faixa de temperaturas é de 885°C a 925°C, acima, portanto, da zona crítica, devendo o material ser mantido na temperatura escolhida durante cerca de 25 minutos por cm de secção; segue-se resfriamento ao ar tranquilo.

**Austêmpera e Martêmpera**: Na austêmpera, a estrutura final é a bainita. O resfriamento é levado a efeito em banho de sal, óleo ou chumbo, mantidos entre230°C e 425°C. Já a martêmpera produz uma estrutura martensítica, sem resultar em tensões elevadas como acontece com a têmpera usual; deve-se, contudo, proceder a um revenido posterior. A martêmpera, por outro lado, permite obter uma dureza final maior do que a da austêmpera; essa diferença é, entretanto, eventualmente diminuída, devido ao revenido da martêmpera.

**Endurecimento superficial**: O endurecimento superficial produz uma camada externa martensítica dura e de alta resistência ao desgaste e um núcleo, que no tratamento não atingiu a temperatura de transformação, mais mole. Após o endurecimento superficial, deve-se proceder a um alívio de tensões, mediante um aquecimento entra 150°C e 205°C, em forno, em óleo quente ou passando-se uma chama sobre a superfície endurecida (323).

1. **Ferro fundido branco**

O ferro fundido branco não tem grafita livre em sua microestrutura, devido a baixa porcentagem de silício e a adição de outros elementos como o cromo, que é estabilizador da cementita, então, o carbono combina-se com o ferro e, assim, possui elevada dureza e resistência a abrasão, praticamente não podendo ser usinado. Para a fabricação de uma peça, ela deve ser fundida diretamente em suas formas finais ou muito próximo delas, a fim de que possa ser usinada por processos de abrasão com pouca remoção de material. É utilizado na fabricação de equipamentos para a moagem de minérios, pás de escavadeiras e outros componentes similares. Sua superfície de fratura apresenta coloração clara e brilhante.

Se for feito um tratamento térmico de maleabilização no ferro fundido branco, no qual a peça do fofo branco fica submetido a uma temperatura de 900° a 1000° durante 30 horas, formaremos o ferro fundido maleável tem alta resistência mecânica, baixa ductilidade e resiliência, boa resistência à compressão, fluidez no estado liquido o que permite a produção de peças complexas e finas. Ele é aplicado em conexão para tubulações, sapatas de freios, caixas de engrenagens, cubos de rodas, bielas, etc. Ele é obtido por meio de tratamento térmico de maleabilização do ferro fundido branco. A finalidade deste tratamento é transformar a cementita em grafita esferoidal, conferindo ao material melhores propriedades mecânicas como maior resistência, limite de escoamento e ductilidade. Sua superfície de fratura apresenta coloração cinza claro.

Os objetivos dos tratamentos térmicos para o ferro fundido branco são para o alívio de tensões e, também para melhorar as propriedades mecânicas do material, quando as peças produzidas com esse material estão sujeitas a esforços mecânicos de choque.

1. **Ferro fundido nodular**

O ferro fundido nodular tem o carbono, na forma de grafite livre na matriz metálica, porém em forma esferoidal. Este formato do grafite faz com que a ductilidade seja superior, conferindo aos materiais característicos que o aproximam do aço. A presença das esferas ou nódulos de grafite mantém as características de boa usinabilidade e razoável estabilidade dimensional. Seu custo é maior que o do ferro fundido cinzento, por causa das estreitas faixas de composição químicas utilizadas para este material. O ferro fundido nodular é utilizado na indústria para a confecção de peças que necessitem de maior resistência a impacto em relação aos ferros fundidos cinzentos, além de maior resistência à tração e resistência ao escoamento. Tem boa resistência mecânica à tração, boa ductilidade e resiliência, boa resistência à compressão. É obtido por modificações químicas na composição do material no estado líquido. Sua superfície de fratura apresenta coloração prateada.

Caso façamos uma austêmpera do ferro fundido nodular, formaremos o ferro fundido austemperado, que terá alta tenacidade e resistência mecânica à tração duas vezes superior ao nodular, e ductilidade igual aos nodulares, fácil usinabilidade. Durante o tempo em que a peças são mantidas à temperatura de austenitização ocorre uma formação acicular de ferrita, austenita de alto teor de carbono estável e nódulos de grafita, formando assim uma estrutura denominada de ausferrita que outorga uma dupla resistência para um mesmo nível de ductilidade se comparado com uma estrutura de perlita, ferrita ou martensita formada por meios convencionais de tratamento térmico.

Os tratamentos térmicos mais comuns são aqueles que têm a finalidade de promover a decomposição da cementita. Para este tipo de modificação microestrutural é muito comum o uso de um tratamento chamado de recozimento pleno. Também é usado o tratamento de normalização, que tem a finalidade de variar a fração volumétrica da ferrita e da perlita. Pode-se, também, obter um ferro fundido nodular com dureza aumentada através de têmpera e revenido. Os tratamentos mais comuns no ferro nodular são:

3.1. Alívio de tensões – Um tratamento de alívio de tensões tem a finalidade de eliminar as tensões provocadas durante o processo de fundição. A temperatura usada neste tipo de tratamento é abaixo da linha AC1 do diagrama ferro carbono, um dos parâmetros de tratamento térmicos dos metais ferrosos. O tempo de tratamento recomendado é de 20 minutos para cada cm2 médio de parede do fundido.

3.2. Recozimento – O recozimento tem a finalidade de variar a fração volumétrica da ferrita no fundido tornando-o mais macio e usinável. O fundido é aquecido a uma temperatura de aproximadamente 900ºC e resfriado até 700ºC em uma hora, seguido de um resfriamento até 650ºC a razão de 3ºC por hora, resfriando lentamente no forno.

3.3. Normalização – O tratamento de normalização tem a finalidade de homogeneizar a estrutura do fundido após a desmoldagem. As peças são aquecidas na temperatura de austenização e resfriadas no forno até 700ºC, seguindo-se resfriamento do fundido ao ar.

3.4. Têmpera e revenido – O tratamento de têmpera tem a finalidade de alterar as características mecânicas do fundido, aumentando a resistência mecânica e principalmente, a resistência ao desgaste. O fundido é elevado a uma temperatura acima da zona crítica e resfriado na água, óleo ou ar comprimido. Após este processo, a peça deve ser submetida a um revenido. Durante o processo de revenimento, o metal deve ser elevado a uma temperatura entre 150 e 600ºC, dependendo do resultado obtido na têmpera e o requerido pelo projeto.

3.5. Austêmpera – O processo se dá com o aquecimento do fundido na faixa de 850 a 950ºC, com a finalidade de difundir carbono dos nódulos de grafita para a ferrita e austenita. Ao se resfriar o material na faixa de 230ºC, aparece um precipitado chamado de bainita, que confere alta dureza e resistência mecânica ao material, com moderada tenacidade.

3.6. Têmpera superficial – tem a finalidade de aumentar a resistência superficial do fundido. O processo deve ser aplicado por chama direta ou indução na faixa de 900ºC seguido de um imediato resfriamento do fundido por aplicação de jato d’água.

1. **Ferro fundido mesclado**

O ferro fundido mesclado apresenta-se microestruturalmente como uma combinação dos ferros fundidos cinzento e branco, com a grafita em morfologia lamelar e uma quantidade de cementita, cujas quantidades variam em função do emprego do material. Sua superfície de fratura apresenta coloração brilhante acinzentada.

1. **Ferro fundido de grafita**

O ferro fundido de grafita compactada é um ferro fundido obtido pela adição do titânio na composição do ferro fundido nodular, com a finalidade de degenerar o nódulo de grafita. Apresenta propriedades intermediárias entre os ferros fundidos nodular e cinzento. Sua fratura apresenta-se na forma mesclada.

**Referências**

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ferro_fundido>

<http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3721/3721_3.PDF>