

Na segunda aula deste módulo, quando nós estudamos a classificação dos materiais, você aprendeu que eles são divididos em dois grupos: os materiais ferrosos e os materiais não-ferrosos. Então, nós começamos a estudar os materiais ferrosos, você se lembra? E começamos pelo aço.

Nesta aula, você vai aprender algumas coisas sobre o “irmão” do aço: o ferro fundido. Você vai aprender que as diferenças de composição entre um e outro é que são responsáveis pelas diferentes propriedades e diferentes aplicações desse metal ferroso.

Esse material é “filho” do gusa, funde a temperaturas bem mais baixas que o aço e apresenta características que o tornam um material único, indicado para aplicações bem específicas. Quais são elas? Você só vai saber se estudar esta lição. Então, se liga!

Obtendo o ferro fundido

Os ferros fundidos são ligas de ferro e carbono com teores elevados de silício e também são fabricados a partir do ferro-gusa. Só que nesse irmão do aço, o carbono está presente com teores entre 2 e 4,5%. E, se eles têm mais carbono, o que acontece? Claro! Eles ficam mais duros do que o aço. Além disso, por causa do silício, forma-se grafite em sua estrutura. Por isso eles são... Isso mesmo! Mais frágeis! Portanto, não é possível forjá-los, estirá-los, laminá-los ou vergá-los em qualquer temperatura.

Mas, como é que o gusa se transforma em ferro fundido? A transformação acontece em dois tipos de fornos: o forno elétrico e o forno cubilô. No forno elétrico, o processo é semelhante ao de produção do aço, que nós já estudamos, você se lembra?

O forno cubilô trabalha com ferro-gusa, sucata de aço, calcário (para separar as impurezas), ferro-silício, ferro-manganês e coque, como combustível. Ele funciona sob o princípio da contracorrente (como o alto-forno), ou seja, a carga metálica e o coque descem e os gases sobem.

Para começar, limpa-se o forno, que é uma carcaça cilíndrica, vertical de aço, revestida internamente com tijolos refratários. Em seguida, coloca-se um pouco de madeira e o coque no fundo e ateia-se fogo. Quando o fogo atravessa toda a camada de coque e madeira, liga-se o sopro de ar. Nesse momento, é iniciada a carga: em camadas, são colocadas quantidades pré-determinadas de ferro-gusa, sucata, coque e fundente (calcário). Esse carregamento continua, até atingir o nível da porta de carga e assim deve ser mantido durante toda a operação.

Por falar nisso, essa operação pode ser intermitente ou contínua. Se ela for intermitente, a corrida metálica, ou seja, a retirada do ferro fundido do forno, é feita periodicamente, sempre que necessário. No segundo caso, o material fundido (metal e escória) é despejado continuamente na calha de vazamento.

Nessa calha, há uma bacia que separa a escória do metal. Esta, por apresentar menor densidade, flutua e escorre lateralmente. O ferro corre para a panela de fundição.

O forno cubilô não permite que se faça um controle rigoroso da composição química do metal. Por isso, ele é empregado para a produção de ferro fundido que será usado na fabricação de peças que não sofrerão grandes esforços. Para a produção de ferros fundidos de alta qualidade, são usados fornos elétricos ou fornos cubilô em conjunto com os fornos elétricos.

Para parar e estudar

Nesta primeira parte da aula, você deve ter percebido que a produção do ferro fundido é até parecida com a produção do aço. Por isso, não será difícil fazer o exercício que apresentamos a seguir:

Exercícios

1. Assinale com um **X** a alternativa correta das questões a seguir:
 - a) Os ferros fundidos são ligas de:
 1. () silício e carbono;
 2. () ferro e tungstênio;
 3. () carbono e tungstênio;
 4. () ferro e carbono.
 - b) A porcentagem de carbono no ferro fundido gira em torno de:
 1. () 2 e 4%;
 2. () 2,5 e 4,5%;
 3. () 2 e 4,5%;
 4. () 2,5 e 5%.
 - c) Quando a porcentagem de carbono é alta na composição do ferro fundido, ele se torna:
 1. () mais frágil;
 2. () macio;
 3. () laminável;
 4. () forjável.
2. Responda às seguintes perguntas:
 - a) Quais os processos usados para transformar o gusa em ferro fundido?
 - b) Dos materiais usados como carga no forno cubilô, qual serve para separar impurezas e qual serve como combustível?
 - c) Qual é a desvantagem do forno cubilô?

- d) Qual o tipo de forno usado quando se deseja obter um ferro fundido de melhor qualidade?

Tipos de ferro fundido

O ferro fundido é o que chamamos de uma **liga ternária**. Isso quer dizer que ele é composto de três elementos: ferro, carbono (2 a 4,5%) e silício (1 a 3%). Existe ainda o ferro fundido ligado, ao qual outros elementos de liga são acrescentados para dar alguma propriedade especial à liga básica.

Dependendo da quantidade de cada elemento e da maneira como o material é resfriado ou tratado termicamente, o ferro fundido será **cinzento**, **branco**, **maleável** ou **nodular**. O que determina a classificação em cinzento ou branco é a aparência da fratura do material depois que ele resfriou. E essa aparência, por sua vez, é determinada pela forma como o carbono se apresenta depois que a massa metálica solidifica. E ele se apresenta sob duas formas: como cementita (Fe_3C) ou como grafita, um mineral de carbono usado, por exemplo, na fabricação do lápis.

Assim, no **ferro fundido cinzento**, o carbono se apresenta sob a forma de grafita, em flocos ou lâminas, que dá a cor acinzentada ao material. Como o silício favorece a decomposição da cementita em ferro e grafita, esse tipo de liga ferrosa apresenta um teor maior de silício (até 2,8%). Outro fator que auxilia na formação da grafita é o resfriamento lento.



Os ferros fundidos cinzentos apresentam boa usinabilidade e grande capacidade de amortecer vibrações. Por causa dessas

características, são empregados nas indústrias automobilística, de equipamentos agrícolas e de máquinas e, na mecânica pesada, na fabricação de blocos e cabeçotes de motor, carcaças e platôs de embreagem, suportes, barras e barramentos para máquinas industriais.

O **ferro fundido branco** é formado no processo de solidificação, quando não ocorre a formação da grafita e todo o carbono fica na forma de carboneto de ferro (ou cementita). Daí, sua cor clara. Para que isso aconteça, tanto os teores de carbono quanto os de silício devem ser baixos e a velocidade de resfriamento deve ser maior. Nos ferros fundidos brancos ligados, elementos como o cromo, o molibdênio e o vanádio funcionam como estabilizadores dos carbonetos, aumentando a dureza.

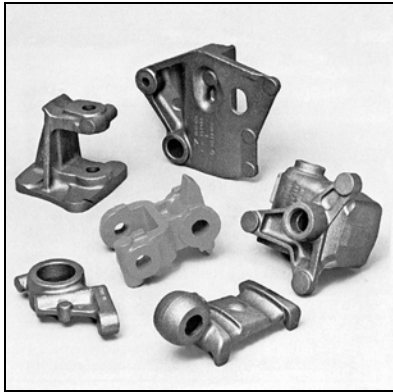
Por causa da elevada dureza, os ferros fundidos brancos são frágeis, embora tenham uma grande resistência à compressão, ao desgaste e à abrasão. Essa resistência e dureza se mantêm mesmo em temperaturas elevadas. Por isso, esse tipo de material ferroso é empregado em equipamentos de manuseio de terra, mineração e moagem, rodas de vagões e revestimentos de moinhos.

O **ferro fundido maleável** é um material que reúne as vantagens do aço e as do ferro fundido cinzento. Assim, ele tem, ao mesmo tempo, alta resistência mecânica e alta fluidez no estado líquido, o que permite a produção de peças complexas e finas.

O ferro fundido maleável é produzido a partir de um ferro fundido branco submetido a um tratamento térmico, por várias horas, que torna as peças fabricadas com esse material mais resistentes ao choque e às deformações. Dependendo das condições do tratamento térmico, o ferro pode apresentar o núcleo preto ou branco.

O ferro fundido maleável de núcleo **preto** (ou americano) passa por um tratamento térmico em atmosfera neutra, em que a cementita se decompõe em ferro e carbono e, no qual, o carbono forma uma grafita compacta, diferente da forma laminada dos ferros fundidos cinzentos. Ele é usado para a fabricação de

suportes de molas, caixas de direção, cubos de rodas, bielas, conexões para tubulações hidráulicas e industriais.



O ferro fundido maleável de núcleo **branco** passa por um tratamento térmico, em atmosfera oxidante, no qual o carbono é removido por descarbonetação, não havendo formação de grafita. Por causa disso, ele adquire características semelhantes às de um aço de baixo carbono e pode ser soldado. É um material indicado para a fabricação de barras de torção, corpos de mancais, flanges para tubos de escapamento.



Finalmente, temos o **ferro fundido nodular**, cuja estrutura apresenta partículas arredondadas de grafita. Isso é obtido com a adição de elementos, como o magnésio, na massa metálica ainda líquida. Com o auxílio de tratamentos térmicos adequados, esse material pode apresentar propriedades mecânicas, como a ductilidade, a tenacidade, a usinabilidade e as resistências mecânica e à corrosão, melhores do que as de alguns aços-carbono.



Por causa disso e do menor custo de processamento, está substituindo alguns tipos de aços e os ferros fundidos maleáveis na maioria de suas aplicações. Mancais, virabrequins, cubos de roda, caixas de diferencial, peças de sistema de transmissão de automóveis, caminhões e tratores são produtos fabricados com o ferro fundido nodular. Essas informações estão reunidas no quadro a seguir:

Tipo de ferro fundido	Propriedades	Produtos
Ferro fundido cinzento	Boa usinabilidade. Capacidade de amortecer vibrações.	Blocos e cabeçotes de motor, carcaças e platôs de embreagem, discos e tambores de freio; suportes, bases e barramentos de máquinas industriais.
Ferro fundido branco	Dureza e fragilidade. Elevada resistência à compressão. Resistência ao desgaste e à abrasão.	Equipamentos de manuseio de terra, mineração e moagem; rodas de vagões; revestimentos de moinhos.
Ferro fundido maleável (preto ou branco)	Alta resistência mecânica e alta fluidez no estado líquido. Resistência ao choque e às deformações.	Suportes de molas, caixas de direção, cubos de roda; conexões para tubulações hidráulicas e industriais; suportes de barras de torção, copos de mancais, flanges para tubos de escapamento.
Ferro fundido nodular	Ductilidade, tenacidade, usinabilidade. Resistência mecânica e à corrosão.	Mancais, virabrequins, caixas de diferencial, carcaças de transmissão, caixas satélites para automóveis, caminhões e tratores.

Os produtos de ferro fundido, assim como os de aço, e de qualquer outro tipo de material, são normalizados, ou seja, seguem as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Nos catálogos, esses produtos são apresentados de acordo com designações ou especificações dessas normas. É um assunto tão importante que você vai estudá-lo em uma outra aula.

Você deve se lembrar, também, que as propriedades dos ferros fundidos em particular e de outros metais, em geral, são melhoradas não só com a adição de elementos de liga, mas também por meio de tratamento térmico, ou seja, um tratamento em que o metal é aquecido e resfriado sob condições controladas. Esse tipo de tratamento interfere na estrutura do material. É um assunto também bastante importante e complexo. Para ele, nós reservamos um módulo inteirinho do Telecurso Profissionalizante. Aguarde! Por enquanto, dê uma parada para estudar.

Para parar e estudar

Um profissional da área de mecânica precisa conhecer os materiais dos quais são feitos os produtos que ele ajuda a fabricar. Então, agora você vai dar mais uma parada para estudar os tipos de ferros fundidos à disposição do mecânico. Estude com atenção e, depois, faça os exercícios.

Exercícios

3. Preencha as lacunas:

- a) O ferro fundido é composto de três elementos: e Portanto, ele é considerado uma liga
- b) Dependendo da quantidade de cada elemento e da maneira como o material é resfriado e tratado termicamente, o ferro fundido pode ser, ou
- c) O que determina a classificação do ferro fundido em cinzento ou branco é do material depois de resfriado.
- d) A cor do ferro fundido cinzento é devida ao carbono que se apresenta na forma de ou
- e) Durante o processo de solidificação, quando não ocorre a formação de e todo o car-

- bono fica na forma de carboneto de ferro ou
, forma-se o ferro fundido
- f) O ferro fundido, é um material que reúne algumas das vantagens do e do ferro fundido cinzento.
- g) As peças fabricadas com ferro fundido maleável são mais resistentes ao e às
- h) O ferro fundido maleável de núcleo é indicado para a fabricação de barras de torção e corpos de mancais.

Avalie o que você aprendeu

4. Resolva as seguintes questões:

- a) O ferro fundido, utilizado na fabricação de peças que não sofrerão grandes esforços, é produzido no forno cubilô. Diga por quê.
- b) Cite algumas características que justifiquem o uso do ferro fundido cinzento nas indústrias automobilística, de equipamentos agrícolas e de máquinas industriais.
- c) Descreva algumas qualidades do ferro fundido branco e onde ele é empregado.
- d) Quais as vantagens do uso do ferro fundido maleável?
- e) Como se transforma gusa em ferro fundido e onde acontece essa transformação?

5. Relacione a coluna A com a coluna B:

Coluna A

- a) () Ferro fundido cinzento.
- b) () Ferro fundido branco.
- c) () Ferro fundido maleável.
- d) () Ferro fundido nodular.

Coluna B

1. Suportes de molas; conexões para tubulações hidráulicas.
2. Equipamentos de manuseio de terra e para mineração.
3. Amortecer vibrações.
4. Substitui alguns tipos de aço e os ferros fundidos maleáveis.

Gabarito

1. a) 4
b) 3
c) 1
2. a) Forno elétrico e forno cubilô.
b) Separar impurezas: calcário - combustível: coque.
c) Não permite que se faça um controle rigoroso da composição química do metal.
d) Fornos elétricos.
3. a) ferro, carbono e silício - ternária.
b) cinzento, branco, maleável ou nodular.
c) aparência da fratura
d) grafita ou lâminas.
e) grafita - cementita - branco.
f) maleável - aço
g) choque - deformações.
h) branco
4. a) Esse tipo de forno não permite que se faça um controle rigoroso da composição química do metal.
b) Boa usinabilidade e grande capacidade de amortecer vibrações.
c) Grande resistência à compressão, ao desgaste e à abrasão e é empregado em equipamentos de manuseio de terra, mineração e moagem, rodas de vagões etc.
d) Pode ser soldado, tem alta resistência mecânica, resistência ao choque e a deformações.
e) Separando-se as impurezas, utilizando-se os fornos elétricos e o forno cubilô.
5. a) 3
b) 2
c) 1
d) 4