

PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE LIGAS FERROSAS

Maria Luiza Moreira Dias Pereira (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Reginaldo Barco (Orientador). E-mail: rbarco2@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Maringá, PR

Ciências Exatas e da Terra / Física – Física da Matéria Condensada

Palavras-chave: Difração de Raio-X, Ferro Fundido, Cementita.

RESUMO

As ligas ferrosas são aquelas que contém variadas porções de elementos químicos, com ampla gama de aplicações possíveis, a depender da necessidade comercial. A maior parte dos instrumentos de cutelaria, por exemplo, contam com o ferro, como base, e elementos do tipo silício, manganês, carbono e vanádio como elementos de liga. As ferramentas em geral, contém cromo, carbono, ou vanádio, na formação da liga; são as chamadas ligas ferrosas gerais. Um aço de alta liga, por outro lado, como os aços empregados em centrífugas de separação de materiais, contém cobalto, níquel, molibdênio entre outros elementos possíveis. Entre os variados tipos de ferro fundido, um tipo bastante empregado como segurança veicular, é o ferro fundido vermicular, formado por uma matriz contendo ferro e a cementita - Fe_3C distribuída - que, apesar de não resistir à oxidação superficial, mantém as características mecânicas, mesmo quando aquecido a temperaturas intermediárias. Este estudo, então, propôs-se produzir a liga do tipo ferro fundido vermicular a partir de um forno a arco voltaico. Comparativamente, um fragmento de disco de freio automotivo comercial foi analisado, permitindo verificar a liga produzida, com potencial aplicação. Análises baseadas em técnicas de raios-X, empregadas na caracterização, bem como micrografias, ajudaram a aferir as amostras produzidas.

INTRODUÇÃO

A liga conhecida como ferro fundido pode possuir elementos de liga com baixos teores de silício, manganês, ou magnésio e teores máximos de carbono estabelecido em 6,70 %p. A versatilidade no emprego e a variedade de propriedades físicas e mecânicas apresentadas faz com que esse tipo de liga tenha as maiores escolhas de empregabilidade (W. D. Callister, et al., 2016), distintamente de outros tipos de ligas, como os aços de alta liga, que possuem melhores características mecânicas, permitindo aplicações mais específicas, como as estruturas das centrífugas de separação (V. Chiaverini, 1977).

O ferro fundido pode possuir diferentes classificações: branco, cinzento, maleável, nodular, ou vermicular, a depender dos teores de C presentes no Fe e da existência de fase secundária, cementita (Fe_3C), e como essa fase está distribuída no material. O ferro fundido vermicular, por exemplo, possui entre 3,1 a 4,0 %p de C, e entre 1,7 a 3,0 %p de Si, que provoca a estabilização da estrutura. Essa nomenclatura

decorre do fato de a cementita apresentar estruturas semelhantes a “vermes” distribuídas na matriz (W. D. Callister, et al., 2016). Há um consenso na metalurgia que, para se produzir este tipo de ferro fundido, é necessário produzir a liga $Fe - Si$, adicionando-se C por meio de tratamentos térmicos em temperaturas da ordem de $750\text{ }^{\circ}\text{C}$, em atmosfera contendo N_2 e CH_4 (He Yining, 2016).

MATERIAIS E MÉTODOS

As frações de 1,86 %p de Si (99,9999 % Alpha-Aesar); 3,55 %p C (99,99 % Alpha-Aesar), e 94,59 %p de Fe (99,98 % Sigma-Aldrich) foram eleitas para produzir a liga pretendida, fundindo-se Si ao Fe, em forno de arco voltaico e adicionando-se C, também com processo de fusão em arco voltaico, seguido de, pelo menos, uma refusão para melhor homogeneidade do material final formado. O resultado da fusão é um objeto esferoide, tendo sido cortado em lâminas, com auxílio de uma cortadeira metalográfica. As amostras foram submetidas a temperaturas de tratamento térmico que variaram entre $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 1h, sob vácuo, quando as amostras foram removidas da região quente para a retenção diluída da cementita.

As técnicas de caracterização utilizadas foram: Fluorescência de raios-X (FR-X): equipamento PANalytical / Epsilon1, que promove a emissão de raios-X de excitação no alvo, com energias entre 0,5 e 35 keV, permitindo-se identificar a constituição química do alvo; Difratometria de raios-X (DR-X): equipamento Shimadzu - 6000, que utiliza o comprimento de onda do Co como identificador de planos cristalográficos formados na amostra. A varredura foi obtida adotando-se a geometria Bragg-Brentano convencional, $\theta - 2\theta$, colecionando-se pontos a cada $0,02^{\circ}$; Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): microscópio eletrônico marca Quanta, instalado na central analítica da uem – COMCAP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A técnica de FR-X indica os teores da maior parte dos elementos químicos existentes, que estão presentes na amostra alvo; o software apresenta, por sua vez, possibilidades de inserir condições de identificação pré-definidos, como a combinações de átomos em um composto, ao invés de elementos puros. Nesta possibilidade, a tabela 1, a seguir, apresenta, no conjunto informações à esquerda, as condições elementares identificadas das amostras estudadas, enquanto que à direita, são apresentados resultados obtidos sugerindo a formação da cementita. Nota-se uma fração de Fe majoritária, mas ao escolher a estrutura da cementita, o teor dessa estrutura sugere ser complementar ao Fe, apesar de o equipamento, e mesmo a técnica não possuírem a possibilidade de identificação eficaz de composições químicas.

O DR-X, por sua vez, é emblemático na identificação de estruturas de elementos puros e compostos, desde que possuam orientação cristalográfica. As figuras 1, então, apresentam o difratograma de um disco de freio automotivo comercial (fig. 1a), tradicionalmente constituído como ferro fundido vermicular; e os difratogramas das amostras produzidas neste estudo (figs. 1b - f).

Tabela 1 – Informações obtidas através da técnica de FR-X. Os valores referem-se a quantidades em massa.

Amostra disco					
Si	Fe	Mn	Mn	Si	Fe ₃ C
0,999	81,311	0,456	0,429	0,942	43,010
Amostra como-fundida					
Si	Fe			Si	Fe ₃ C
0,757	74,989			0,714	38,922
Amostra 550 °C					
0,361	59,066			0,341	37,590
Amostra 650 °C					
0,713	61,842			0,673	36,819
Amostra 800 °C					
0,725	74,517			0,684	48,710
Amostra 900 °C					
0,667	56,243			0,629	35,053

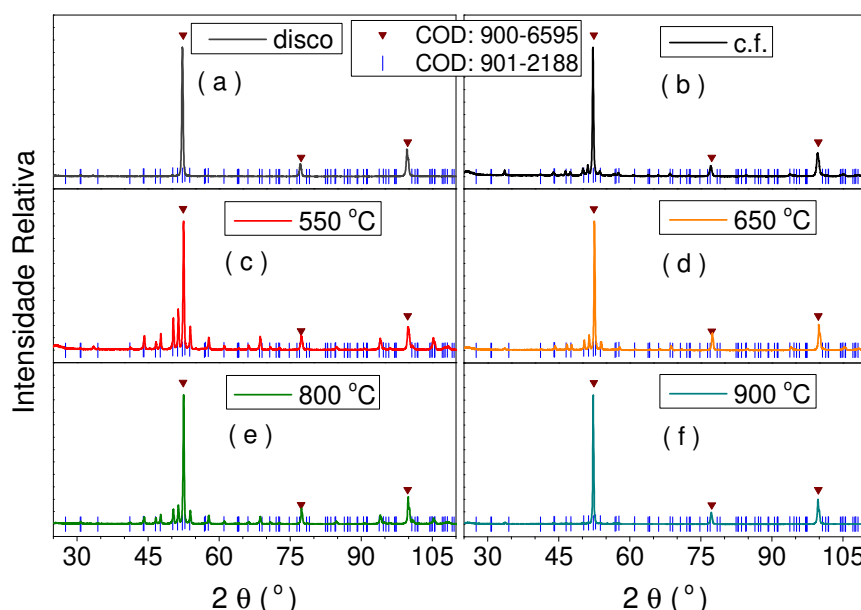


Figura 1 – Difratograma das nas amostras estudadas. (a) Disco de freio comercial. (b) Como fundida. Tratada a: (c) 550 °C; (d) 650 °C; (e) 800°C; e (f) 900°C. Identificação de fases: triângulo marrom - $\alpha - Fe$; marca azul - cementita Fe_3C .

Em todas as amostras, foram identificadas as fases $\alpha - Fe$ e Fe_3C , com presença majoritária (devido a intensidade dos picos), da matriz $\alpha - Fe$. As variações na intensidade dos picos da cementita em diferentes amostras sugerem a formação de diferentes quantidades dessa fase, a depender da temperatura de tratamento térmico. A menor porção aparente da cementita foi a amostra tratada a 900 °C, assemelhando-se ao disco comercial. A identificação dos picos cristalográficos de ambas as fases foi pesquisada em um banco on-line: “Crystallographic Open Database”, cujas fichas possuem um número identificador, que remetem ao autor da

pesquisa que produziu tal informação. Para a fase $\alpha - Fe$, a ficha mais adequada aos dados foi a 900-6595, enquanto que, para a cementita, a ficha de número 901-2188, foi a mais adequada.

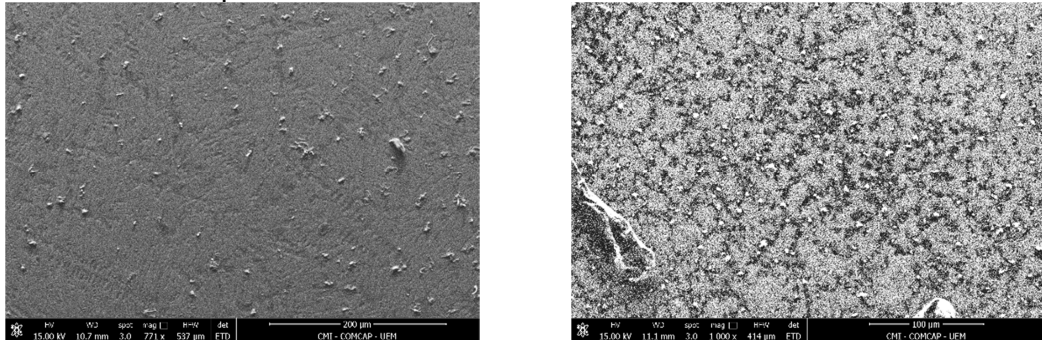


Figura 2 – Micrografia de amostras: 550 °C; (esquerda – 200 µm) e 900 °C (direita – 100 µm).

As figuras 2, por sua vez, apresentam duas micrografias de duas das amostras estudadas, escolhidas pela similaridade visual. Na imagem da esquerda, tem-se a micrografia da amostra tratada a 550 °C. Nota-se pequenas “manchas” em tonalidade escurecida, com formatos variados, relativas à cementita; e uma base acinzentada, relativa à fase $\alpha - Fe$. A micrografia da direita é relativa à amostra tratada a 900 °C. Nota-se uma maior distribuição da cementita na matriz $\alpha - Fe$.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados pelas técnicas de raios-X asseguram a presença dos elementos nas amostras produzidas, assim como as estruturas $\alpha - Fe$ e Fe_3C , com redução na porção da cementita para as temperaturas mais altas (800 °C e 900 °C), assemelhando-se a um modelo de disco de freio automotivo comercial, enquanto que as micrografias asseguram a formação diluída da cementita na matriz de ferro, podendo ser associada ao ferro fundido vermicular, ao menos em parte.

AGRADECIMENTOS

Nossos cordiais agradecimentos à UEM, pela oportunidade e ao CNPq, pelo incentivo financeiro.

REFERÊNCIAS

CALLISTER Jr., W.D.; RETHWISCH, D.G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC-GEN, 2016.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos** – Características gerais, tratamentos térmicos e principais tipos. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1977.

YINING, He; PISTORIUS, P.C. Laboratory Carburization of Direct-Reduced Iron in CH₄-H₂-N₂ Gas Mixtures, and Comparison With Industrial Samples. **Met. Mat. Trans. B**, v. 47B, p. 1538-1541, 2016. DOI: [10.1007/s11663-016-0619-8](https://doi.org/10.1007/s11663-016-0619-8).