

PROCESSAMENTO POR PLASMA DE AMOSTRAS DE AÇO IF UTILIZANDO DIFERENTES MONTAGENS DE ELETRODOS.

J. M. Lourenço¹; N. K. A. M. Galvão²; C. Alves jr³; C. F. de Souza Jr⁴

¹Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte; Doutor em Ciências e Eng. de Materiais; magner@cefetrn.br

²Discente do curso de Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte; nierlly@yahoo.com.br

³Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Doutor em Ciências e Eng. de Materiais ; alvesjr@dfte.ufrn.br

⁴Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, Doutorando em Ciências e Eng. de Materiais; caubi@cefetrn.br

Recebido em outubro de 2004 e Aceito em abril de 2005

RESUMO

Neste trabalho amostras de aço IF, (intersticial free), obtidas através da metalurgia convencional, foram processadas por plasma nas configurações cátodo ôco e cátodo fechado, e em forno resistivo convencional. As amostras foram processadas nas mesmas condições para as duas rotas de processamento. Foi verificado, no entanto, que as amostras tratadas por plasma, apresentaram características microestruturais bem diferentes, como grãos grandes e irregulares, diferentes daquelas que foram tratadas no forno resistivo, o que caracteriza que o campo magnético gerado pelo plasma tem influência sobre a recristalização do material.

Palavras-chave: processamento por plasma, cátodo ôco, cátodo fechado e campo magnético.

SAMPLES OF IF STEEL PROCESSED BY PLASMA USING DIFFERENT ELECTRODOS CONFIGURATION.

ABSTRACT

In this paper samples of IF steel, (intersticial free), manufactured by conventional metallurgy using two electrodes configurations (hollow cathode and closed cathode) were processed in plasma atmosphere; and they also processed in resistive furnace for comparative effects. The samples were treated at the same conditions. It was observed that the samples processed by plasma atmosphere had microstructural characteristics different as large and irregulars grains in opposite those ones processed by resistive furnace. This effect can be influenced by magnetic field produced in plasma atmosphere during material's recrystallizing.

Key words: Plasma processing, hollow cathode, closed cathode and magnetic field.

PROCESSAMENTO POR PLASMA DE AMOSTRAS DE AÇO IF UTILIZANDO DIFERENTES MONTAGENS DE ELETRODOS

INTRODUÇÃO

A tecnologia de processamento de materiais por plasma envolve materiais que são aplicados nas mais diversas áreas e setores como, o aeroespacial, o automobilístico, o médico, entre outros.

Neste trabalho o plasma foi aplicado para processar amostras de aço IF (intersticial free) - ferro puro obtido pela metalurgia convencional - que como o próprio nome já diz possuem interstícios livres, conseqüentemente são quase totalmente ausentes de carbono, podendo ser, portanto, consideradas como ferro puro.

O processo de recristalização, segundo Callister (2002) consiste na diminuição da energia livre de uma determinada massa de material como conseqüência de uma compactação feita previamente ao processo, que é realizado por um tratamento térmico denominado recozimento. Este processo provoca nucleação e crescimento de grãos.

O plasma usado para processar amostras metálicas é o chamado “plasma frio” ou “pouco ionizado” e é formado quando se aplica uma tensão DC entre dois eletrodos inseridos numa câmara contendo gás a baixa pressão (Alves Jr, 2001).

Como citado na literatura (Lourenço, 2004), o processamento a plasma tem a vantagem sobre os outros processos, pelo fato de além de ter a pressão de capilaridade agindo sobre o material, também tem uma força magnética que influencia na recristalização, tamanho e formato dos grãos. Essa força magnética pode possuir uma maior ou menor influência sobre o material, dependendo da fase alotrópica em que a amostra de ferro puro se encontra. Conforme discutido por Choi e co-autores (2000) a ferrita, por exemplo, é energeticamente mais estável do que a austenita, quando processada na presença de um campo magnético.

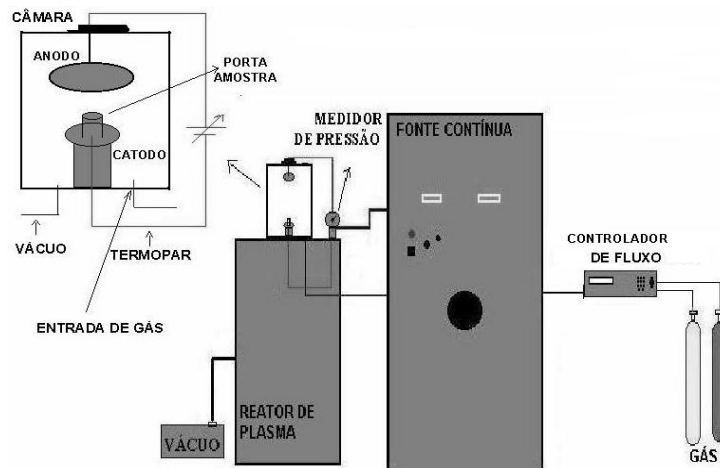
Os tratamentos térmicos que ocasionam o crescimento de grãos são de grande importância, uma vez que o tamanho do grão irá influenciar diretamente nas propriedades mecânicas do material.

O principal objetivo deste trabalho é mostrar a influência do campo magnético gerado pelo plasma sobre o crescimento dos grãos. Desta maneira, amostras de ferro puro foram processadas, em reator de plasma e em forno resistivo. Este último apenas para servir como parâmetro de comparação.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

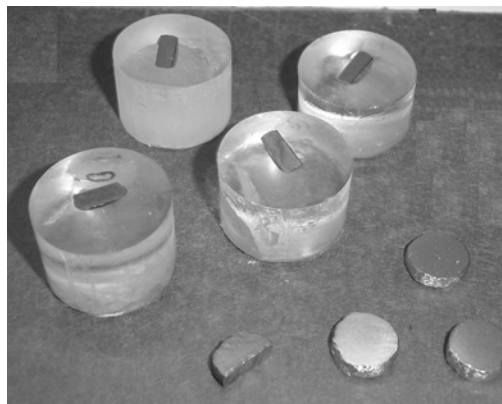
Neste trabalho foi usado um reator de plasma para processar o aço IF utilizando as configurações cátodo ôco e cátodo fechado. Na configuração cátodo ôco o aquecimento da amostra ocorre pelo bombardeamento dos íons e átomos neutros rápidos provenientes da região catódica, além, evidentemente, da irradiação térmica do cátodo. Já na configuração cátodo fechado, o aquecimento da amostra ocorre apenas pela irradiação do próprio cátodo.

Os gases utilizados foram Ar e H e as amostras de aço IF foram processadas a 770, 790, 800 e 930°C durante uma hora, exceto a terceira que foi processada por 30 minutos. A temperatura deste tratamento foi alcançada pela variação da voltagem fornecida ao cátodo e da pressão da mistura gasosa. Abaixo, é mostrado um esquema do equipamento de tratamento térmico a plasma usado para processamento das amostras de ferro puro.



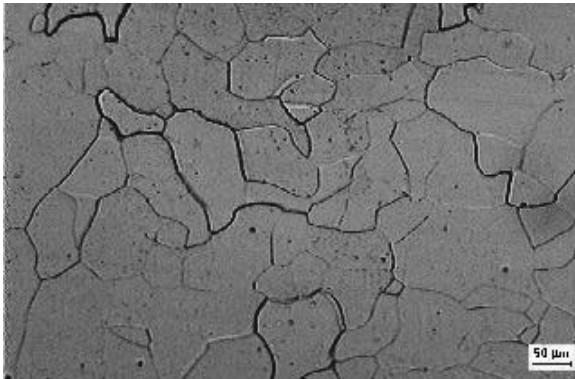
Em forno resistivo, as amostras foram processadas a 900 e 1100°C durante 1 h com atmosfera controlada com argônio. Essas amostras foram feitas para comparar os resultados com as amostras que foram tratadas no plasma.

Os corpos de prova de aço IF possuíam forma cilíndrica de 9,5 mm de diâmetro e 9 mm de altura. Eles foram conformados com uma carga de 6 Ton e passaram a ter 4,5mm de altura e 13 mm de diâmetro. A caracterização microestrutural foi realizada utilizando a técnica de microscopia ótica. Toda a seqüência para a preparação metalográfica foi seguida. Na foto abaixo pode-se visualizar os corpos de prova, na forma de pastilhas conformadas e embutidas.

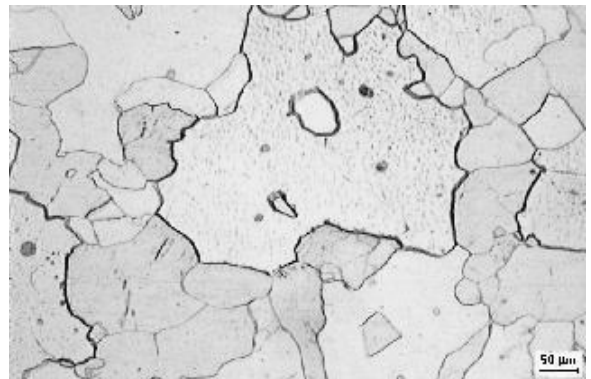


RESULTADOS E DISCUSSÕES

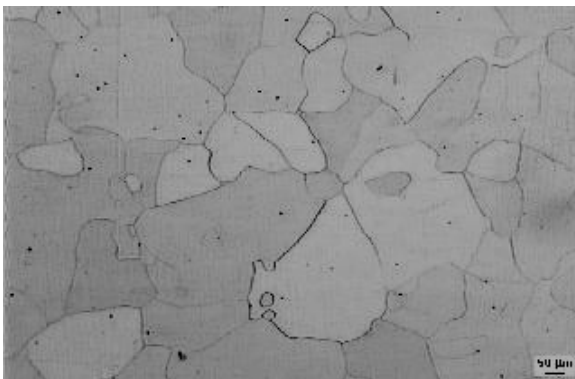
As micrografias mostradas abaixo foram obtidas das amostras de aço IF, processadas por plasma. A micrografia **(I)** foi processada na configuração cátodo fechado e as amostras representadas pelas micrografias **(II)** **(III)** e **(IV)** foram processadas na configuração catodo ôco. Todas as amostras foram sinterizadas durante 1 hora, com exceção da amostra representada na micrografia **III** que foi processada por 30min. As temperaturas usadas para o processo foram de 770°C (fase- α), 790°C (fase- α), 800°C (fase- α) e 930°C (fase- γ), respectivamente, para as amostras representadas pelas micrografias **I**, **II**, **III** e **IV**.



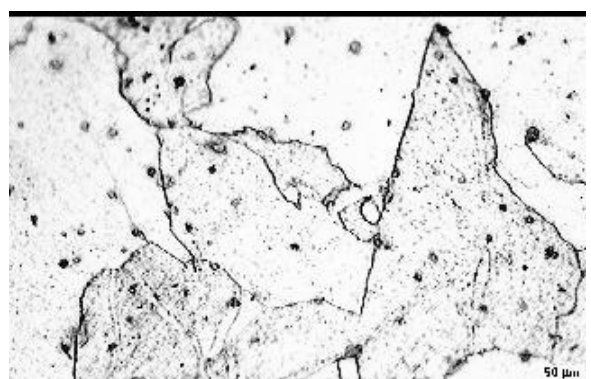
(I)



(II)

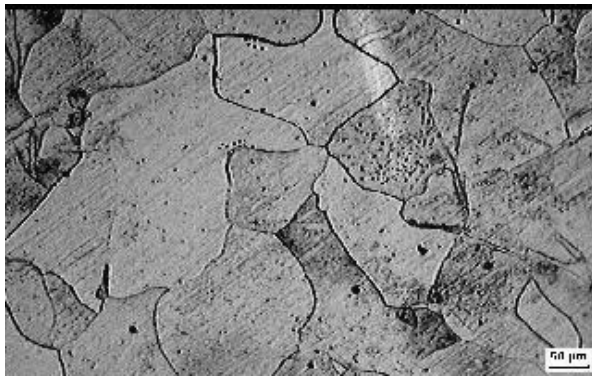


(III)

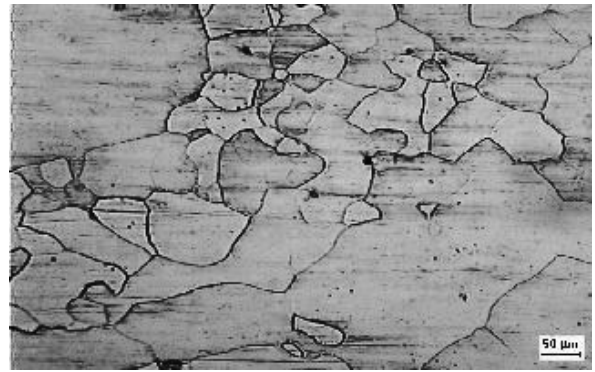


(IV)

As micrografias das amostras do aço IF após processamento em forno resistivo convencional, com atmosfera controlada em argônio, podem ser visualizadas abaixo. O tempo de processamento de ambas foi de 1 h, sendo a micrografia **(A)** processada a 1100°C e a micrografia **(B)** a 900°C.



(A)



(B)

Processamento a plasma versus processamento em forno resistivo

Comparando as micrografias das amostras tratadas por plasma com aquelas processadas em forno resistivo, percebeu-se uma diferença microestrutural. As micrografias **I**, **II** e **III** tratadas em plasma apresentaram microestruturas similares as micrografias **A** e **B** tratadas termicamente em forno resistivo. Para os dois casos, as amostras apresentaram grãos equiaxiais e regulares. No entanto, a amostra tratada termicamente por plasma, representada pela micrografia **IV** apresentou grãos grandes e irregulares. Este efeito de crescimento de grãos irregulares se deve a dois fatores, são eles: campo magnético gerado pelas correntes que circulam nos eletrodos e presença da austenita (fase- γ). O ferro puro se transforma de ferrita (fase- α) para ferro- γ a 912°C, devido ao seu comportamento alotrópico. As amostras representadas pelas micrografias **I**, **II**, **III** e **IV** foram todas processadas por plasma. No entanto, somente a amostra representada pela micrografia **IV** foi processada a 930°C, ou seja, na presença da fase- γ . Conforme discutido por Segundo Choi e co-autores (2000), a suscetibilidade magnética do ferro- α é mais alta do que o ferro- γ e, portanto, mais estável energeticamente na presença do campo magnético, apesar da difusividade térmica da fase- α ser aproximadamente 100 vezes maior que a fase- γ . No entanto, para haver um crescimento de grãos semelhantes as amostras representadas pela micrografia **IV** seria necessário que a difusão na fase- γ fosse significativamente maior que a fase- α .

Segundo Molodov e co-autores (1998), a difusão volumétrica dos átomos que estão na presença de um campo magnético, assume um comportamento semelhante ao transporte coletivo de átomos, daí o motivo das amostras de ferro, sinterizadas por plasma na fase- γ , apresentarem grãos grandes e irregulares. A difusão de átomos nessa região e na presença do campo magnético assume um comportamento de difusão ativada. O mesmo efeito não foi observado para as amostras representadas pelas micrografias **I**, **II** e **III**, pelo fato da maior estabilidade da ferrita na presença do campo magnético.

O efeito microestrutural das amostras processadas em forno resistivo teve o mesmo comportamento daquelas processadas por plasma na presença da fase- α . De fato, a técnica de processamento das amostras em forno resistivo é mais uma comprovação de que as amostras trabalhadas por plasma na presença da fase- γ foram influenciadas por algum fator externo. Este fator foi atribuído à presença do campo magnético gerado pelas correntes que circulam nos eletrodos (cátodo e ânodo). Observe que as micrografias **A** e **B** são

semelhantes às micrografias **I**, **II** e **III** processadas, respectivamente, em forno resistivo e em reator de plasma na presença da fase- α .

CONCLUSÃO

Através dos resultados expostos ficou claro que há diferença no que diz respeito a microestrutura de uma amostra que sofreu o processo de recristalização em forno resistivo e outra que foi recristalizada em reator de plasma. A influência do campo magnético atuou diretamente nas amostras processadas na fase- γ , devido a menor suscetibilidade magnética. Já para as amostras processadas em reator de plasma, porém, na presença da fase- α apresentaram comportamento microestrutural semelhantes às aquelas amostras processadas em forno resistivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES JR, C. ; Nitretação a Plasma, Fundamentos e Aplicações. RN Editora EDUFRRN; p. 13 – 28, 2001.

CALLISTER JR, W.D. ; Ciências e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Editora LTC 2002

CHOI, J-K.; OHTSUKA, H.; XU, Y.; CHOO, W-Y. Effects of a strong magnetic field on the phase stability of plain carbon steels. Scripta Materialia, vol. 43, pp. 221-226, 2000.

LOURENÇO, J.M.; Evolução Microestrutural de Ferro Puro e Ligas Ferrosas Sinterizadas por Plasma; SC; Tese (Doutorado) UFSC; p. 31-50, 2004.

MOLODOV, D. A.; GOTTSTEIN, G.; HERINGHAUS, F.; SHVINDLERMAN, L. S. True absolute grain boundary mobility: motion of specific planar boundaries in bi-bicrystals under magnetic driving forces. Acta Mater., vol. 46, n. 16, pp. 5627-563, 1998.