

# I Congresso Geral de Energia Nuclear

Rio de Janeiro, 17 a 20 de Março de 1986

## ANAIS - PROCEEDINGS

### EFEITO DA IRRADIAÇÃO NEUTRÔNICA EM LIGAS FeNi, OBSERVADO POR MEIO DE MEDIDAS MAGNÉTICAS

Valdir Sciani e Georgi Lucki  
IPEN-CNEN/SP - Divisão de Danos de Radiação

#### RESUMO

Neste trabalho, alguns aspectos dos danos de irradiação são analisados através da influência da irradiação neutrônica nas propriedades magnéticas de ligas FeNi. Os principais pontos enfocados são: aceleração da difusão induzida pela irradiação, determinação da energia de ativação do processo de difusão e a supersaturação de lacunas, parâmetro tecnológico importante e uma das condições necessárias para a formação de cavidades.

#### ABSTRACT

In this work some aspects of radiation damage are analysed through the influence of neutron irradiation on magnetic properties of FeNi alloys. The main points emphasized are: radiation enhanced diffusion, determination of the activation energy for diffusion process and vacancies supersaturation, which is an important parameter from technological point of view and a necessary condition for the void formation.

#### 1. INTRODUÇÃO

A colisão de nêutrons rápidos com a rede cristalina produz um grande número de pares lacuna-intersticial, responsáveis por vários fenômenos de danos de irradiação, incluindo a formação de cavidades<sup>(1,2)</sup>. Tal fenômeno destrutivo resulta em um inchaço, bem como em mudanças nas propriedades físicas de materiais. Em geral, os metais sofrem o fenômeno do inchaço entre 0,3 e 0,5 da temperatura de fusão, existindo um período de incubação, até uma fluência de aproximadamente  $10^{22}$  nêutrons/cm<sup>2</sup>, no qual não ocorre nenhum inchaço mensurável<sup>(2)</sup>.

No presente trabalho, o interesse está voltado ao estudo da influência da irradiação neutrônica nas propriedades magnéticas de ligas FeNi, no período de incubação de cavidades, evidenciando uma de suas condições necessárias: a supersaturação de lacunas. São analisados resultados experimentais que simulam as condições de irradiação de um reator de potência: alta temperatura e atmosfera controlada.

## 2. AMOSTRAS

O dispositivo de irradiação e o sistema de medição são descritos, com detalhes, nas referências 3 e 4. As amostras utilizadas, FeNi (50-50 %at.), possuem forma toroidal, com espessura de 0,4mm, diâmetro interno de 11 mm e diâmetro externo de 17,4 mm. Foram também estudadas amostras dopadas com Cr, Mo e Si.

## 3. EFEITO DA IRRADIAÇÃO NAS PROPRIEDADES MAGNÉTICAS-RESULTADOS

As propriedades magnéticas mais sensíveis à irradiação são a Permeabilidade Magnética Inicial,  $\mu_0$ , Força Coercitiva,  $H_c$ , e Indução Remanente,  $B_r$ , sendo mais afetados os materiais magnéticos "moles" ( $\mu_0$  alta e  $H_c$  baixa) que os "duros" ( $\mu_0$  baixa e  $H_c$  alto)<sup>(5)</sup>.

A figura 1 mostra duas curvas de desacomodação da permeabilidade inicial (Efeito Magnético Posterior) respectivamente antes e durante a irradiação, evidenciando a aceleração da difusão. A irradiação possibilita o estudo, em algumas horas, de processos envolvendo tempos de relaxação de alguns anos, quando ativados apenas termicamente.

A figura 2 ilustra a quadratização da curva de histerese provocada pela irradiação, mostrando a presença de ordem direcional<sup>(4)</sup>. A irradiação acelera o processo de ordenação.

As constantes de tempo das curvas de desacomodação da permeabilidade inicial, calculadas a partir dos recozimentos isotérmicos, em função do inverso da temperatura são mostradas na figura 3. A energia de ativação para o processo de difusão antes da irradiação (3,06 eV) é cerca de duas vezes à correspondente durante a irradiação (1,41 eV). A adição de impurezas causa um decréscimo na energia de ativação, atenuando a difusão e a ordem direcional<sup>(3,4)</sup>.

Sendo a concentração de lacunas inversamente proporcional à constante de tempo, é possível avaliar quantitativamente a supersaturação de lacunas, conforme mostrado na figura 4. Nota-se que o Cr tem um efeito estabilizador da supersaturação entre 400 e 470°C. A adição de 2 %at. de Si reduz a supersaturação em cerca de cem vezes, ao redor de 450°C<sup>(6)</sup>. Estes resultados apresentam um interesse tanto para a tecnologia como para o estudo fundamental, devendo ser dedicado grande esforço no sentido de encontrar elementos que inibam a supersaturação de lacunas, conseqüentemente a formação de cavidades. Desta maneira, a curva de supersaturação pode servir como método prévio de seleção de materiais de interesse na Tecnologia Nuclear.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- (1) NORRIS, D.I.R. Voids in irradiated materials (part I). Rad. Eff., 14: 1-37, 1972.
- (2) OLANDER, D.R. Fundamental aspects of nuclear fuel elements. Springfield, Virginia, Technical Information Center, TID-25711-P1, 1976.
- (3) SCIANI, V. Estudos de danos de irradiação na liga FeNi pura e com impurezas, por meio de medidas magnéticas. Dissertação de Mestrado - IPEN-CNEN/SP.
- (4) LUCKI, G. Influência da irradiação com nêutrons rápidos sobre as propriedades magnéticas da liga FeNi pura e com impurezas de Si e Mo. Tese de Doutorado. IFUSP - 1971.
- (5) DAUTREPPE, D. Radiation effects in magnetic materials. Gordon & Breach, 1968.
- (6) VEISSID, N.; WATANABE, S.; LUCKI, G. Neutron irradiation effect on magnetic properties of Cr-, Mo- and Si-doped FeNi-alloys. J. Nucl. Sci. Tech., 21(3): 215-23, 1984.

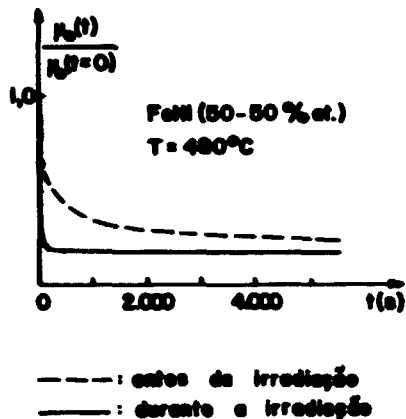


Fig. 1: Aceleração da difusão induzida por nêutrons rápidos.

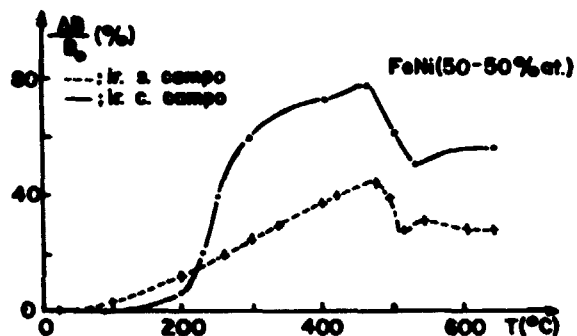


Fig. 2: Variação relativa da indução magnética em função da temperatura.

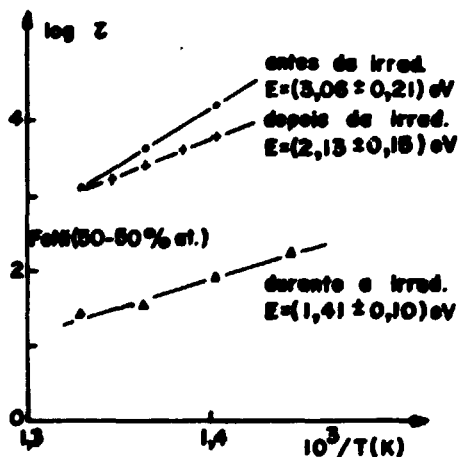


Fig. 3: Logarítmo das constantes de tempo médias em função de  $1/T$ .

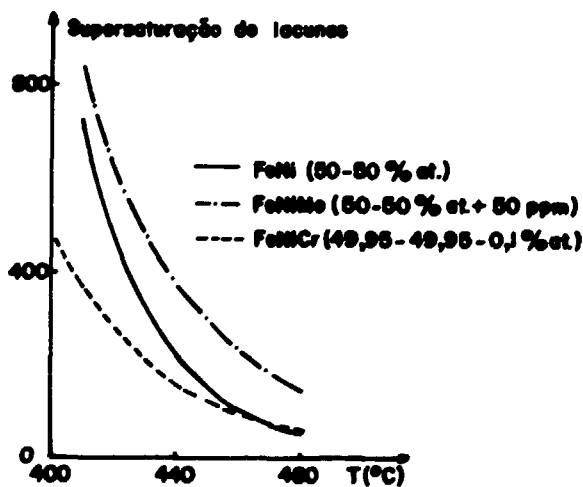


Fig. 4: Curvas da supersaturação de lacunas em função da temperatura.